

# 特殊緑化技術に関する研究発表会

平成22年12月9日



財団法人 都市緑化技術開発機構  
特殊緑化共同研究会



# 目次

□次第	2
□講演要旨	
○発表1 「生物多様性を目的とした屋上緑化のための植栽設計・管理」	3
永瀬 彩子 千葉大学大学院園芸学研究科 助教	
野村 昌史 千葉大学大学院園芸学研究科 准教授	
○発表2 「集合住宅における屋上園芸を核としたコミュニティ形成と住民意識」	11
御手洗 洋蔵 東京農業大学大学院 農学研究科 農学専攻博士前期課程	
○発表3 「CASBEEにおける建築緑化評価指標の充実と開発」	15
高橋 萌 前 明治大学 農学部	
○発表4 「パトリック・ブランの『垂直の庭』における配植手法と設計理念」	19
深水 崇志 千葉大学大学院 園芸学研究科 風景学研究室博士後期課程	
○発表5 「在来植物を用いた壁面部緑化」	23
大澤 啓志 日本大学 生物資源科学部 植物資源科学科 准教授	
○発表6 「根の肥大生長を対象とした建築材料の耐根性評価手法」	27
石原 沙織 東京工業大学 建築物理研究センター 博士後期課程	
○発表7 「グランドカバープランツを利用したファイトレメディエーション」	36
浅井 俊光 東京農業大学 地域環境科学部 助教	
○発表8 「軽量プラスチック資材を利用した屋上水辺緑化の試み」	42
笹田 勝寛 日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 准教授	
○発表9 「Storm water対策を目指した実験雨パターンによる 屋上緑化の雨水流出シミュレーション」	44
菊池 佐智子 明治大学 研究知財戦略機構	
○発表10 「ドイツ南西地域の環境緑化事例」	48
飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授	

## 特殊緑化技術に関する研究発表会

日時：平成22年12月9日（木） 13：00～18：30

会場：田島ルーフィング会議室（東京都千代田区岩本町）

### 次 第

13：00 開 会

開会挨拶 小川 陽一 財団法人 都市緑化技術開発機構 専務理事

主旨説明 藤田 茂 特殊緑化共同研究会 運営委員長

13：10～13：40 発表1 「生物多様性を目的とした屋上緑化のための植栽設計・管理」

永瀬 彩子 千葉大学大学院園芸学研究科 助教

野村 昌史 千葉大学大学院園芸学研究科 准教授

13：40～14：10 発表2 「集合住宅における屋上園芸を核としたコミュニティ形成と住民意識」

御手洗 洋蔵 東京農業大学大学院 農学研究科 農学専攻博士前期課程

14：10～14：40 発表3 「CASBEE における建築緑化評価指標の充実と開発」

高橋 萌 前 明治大学 農学部

14：40～15：10 発表4 「パトリック・ブランの『垂直の庭』における配植手法と設計理念」

深水 崇志 千葉大学大学院 園芸学研究科 風景学研究室博士後期課程

15：10～15：40 発表5 「在来植物を用いた壁面部緑化」

大澤 啓志 日本大学 生物資源科学部 植物資源科学科 准教授

休憩 10 分間

15：50～16：20 発表6 「根の肥大生長を対象とした建築材料の耐根性評価手法」

石原 沙織 東京工業大学 建築物理研究センター 博士後期課程

16：20～16：50 発表7 「グランドカバープランツを利用したファイトレメディエーション」

浅井 俊光 東京農業大学 地域環境科学部 助教

16：50～17：20 発表8 「軽量プラスチック資材を利用した屋上水辺緑化の試み」

笹田 勝寛 日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 准教授

17：20～17：50 発表9 「Storm water 対策を目指した実験雨パターンによる屋上緑化の雨水流出シミュレーション」

菊池 佐智子 明治大学 研究知財戦略機構

17：50～18：20 発表10 「ドイツ南西地域の環境緑化事例」

飯島 健太郎 横浜桐蔭大学 工学部 電子情報工学科 准教授

18：20 閉会挨拶 佐藤 忠継 特殊緑化共同研究会 情報活用部会長

講演要旨



# 生物多様性を目的とした屋上緑化のための植栽設計・管理

氏名 永瀬 彩子 千葉大学大学院園芸学研究科 助教  
野村 昌史 千葉大学大学院園芸学研究科 准教授

## 要旨

生物多様性を目的として施工され 8 年間無管理無灌水だった屋上緑地の動植物の調査を行った。多くの高木は活力が低かったが、密植した低木の生長は良好だった。雑草地には草食性の昆虫類が多く定着していたが、吸蜜植物を残し、大型雑草を除去するなど選択的除草が必要である。

## 1. 研究の背景と目的

近年、生物多様性に対する関心が高まっている。緑が少ない都市の中で、鳥類や無脊椎動物を誘致し、生態系を創出できる屋上ビオトープ（島田ら、1995；養父ら、1997）は、今後も需要が拡大すると考えられる。屋上ビオトープのほとんどは集約的な屋上緑化であり、主として自生種の植物を用い、池が設置されることが多いため高価で、灌水や定期的な管理を必要とする。しかし植栽設計や管理計画を適切に行えば、低管理で生物多様性の効果が高い屋上緑化が期待できる。そこで本研究では、施工後 8 年間、無灌水・無管理であった屋上ビオトープにおける植物と無脊椎動物を調査し、屋上に創出された生態系の特徴から、生物多様性を目的とした屋上緑化のための植栽設計・管理の方針を示すことを目的として調査を行った。

## 2. 研究方法

### 2.1 実験場所の概要

2002 年春、千葉大学西千葉キャンパス（千葉県千葉市）の 9 階屋上に 150m<sup>2</sup>のビオトープが施工された。屋上の概要および植栽を図 1 に示す。屋上緑化は、屋上の東側に位置し、屋上の西側には、10 階部分の建物があるため、午後は日陰になる。屋上緑地には、防根シート、排水層、50cm の軽量人工土壌（日比谷アメニス：ラピュタソイル）が使用され、30 種類の木本が植栽された。西側 40 m<sup>2</sup>は、コウライシバ、東側 30 m<sup>2</sup>は火山砂利が敷かれ、南部と中央の小道には、合計 32 本の枕木（210 cm x 20 cm x 14 cm）が設置された。中央には池（12 m<sup>2</sup>）があったが、3 年ほど前より水の供給が止まっていた。2002 年の施工以来、灌水は行われず無管理であったが、図 2 で示す J, K, L, M, N 部分のみ、2010 年に 6 回（7 月 11 日、7 月 29 日、8 月 11 日、8 月 26 日、9 月 11 日、9 月 26 日）除草が行われた。

### 2.2 調査方法

2009 年 11 月および 2010 年 5 月から 10 月まで、図 2 に示したように調査地を 14 区画に分け、区画ごとに植物および無脊椎動物の生育調査を行った。樹木は、月 1 回、樹高、樹幅、および活力度を測定した。活力度の評価は目視により、非常にストレスを受けて、施工以来ほとんど生長がみられず葉落ちしているものを 1、生長が非常に旺盛なものを 5 とし、5 段階で評価を行った。また月 2 回、雑草の侵入種、草丈、緑被率、生長段階を測定した。無脊椎動物類は、月 2 回の定期的な調査によってその種数および個体数を把握した。調査時に眼で見て発見した昆虫類をリストアップする見取り法や、草地や樹木の枝等を捕虫網によってスレーピングする採集法によって調査した。優占的にみられた種についてはその個体数も調べ、季節的な変異についても検討した。チョウおよびトンボ類は、キャンパス内の地上部（草地、道、広場、花壇、ハーブガーデン）の種構成についても屋上と同じ日に調査を行い、屋上緑化地と比較した。

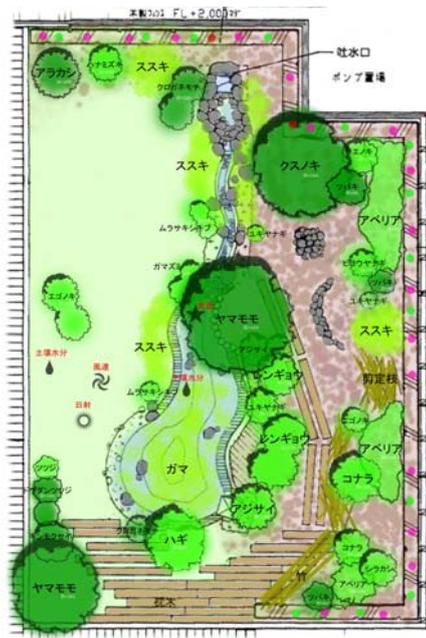


図1 屋上緑化の概要

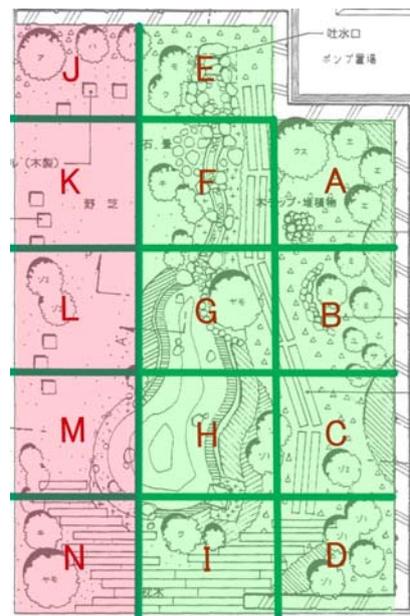


図2 実験地の調査区画

### 3. 結果と考察

#### 3.1 木本の生存

2009年の木本の生育調査結果を表1に示す。本屋上緑地は、海から2.5 kmの場所であり、午後は南から北へ向かって海風が吹く。防風壁などの風対策が行われていないため、海風が植物の生存や生長に大きな影響を及ぼした可能性が高い。高木ではヤマモモとクスノキが旺盛な生長を示したが、ほとんどの種は海風に加えて強い日照や水分不足などによる環境ストレスにより、主幹の生長が停滞し葉落ちや偏樹形などがみられた。ヤマモモは、特に良好な生長を示したが、空中の窒素を固定する根粒菌を持つため、過酷な屋上環境に適応できたと考えられた。ほとんどの低木の生育状態は良好であり、アベリア、サザンカ、レンギョウ、ビヨウヤナギ、セイヨウアジサイ、ガクアジサイ、ハギ、ユキヤナギで開花が見られた。またアベリアは吸蜜植物として重要な役割を果たしていた。低木の生長が良好だった理由として、密植されたことにより風に対する抵抗が増し、乾燥にも耐えることができたと考えられた。また生長が旺盛なヤマモモの隣に植えられたキンモクセイは、生長が良好で開花も見られたが、緑地中央に単独で植えられたキンモクセイは強風などにより枯死していた。一方、ミカン、ユズ、サンショウ、イヌシデは枯死していた。ミカン科の植物は、アゲハチョウの仲間にとって重要な食草となるが、無灌水で無管理の屋上では、生存が困難であった。また生け垣として使用されたヒサカキ、ベニバナトキワマンサク、ベニカナメモチは、風の影響を直接受けるため、施工以来ほとんど生長がみられなかった。

表1 2002年および2009年の木本の生育調査

	2002		2009			
	樹高 (cm)	個体数	平均樹高* (cm)	平均樹径* (cm)	活力度	生存個体数
<i>Carpinus tschonoskii</i> イヌシデ	250	2	-	-	-	0
<i>Cinnamomum camphora</i> クスノキ	300	1	420	273	5	1
<i>Cornus florida</i> ハナミズキ	250	2	248±14	60±15	2	2
<i>Osmanthus fragrans</i> var. <i>aurantiacus</i> キンモクセイ	180	2	258	85	4	1
<i>Ilex integra</i> モチノキ	180	2	191±53	66±18	2	2
<i>Ilex rotunda</i> クロガネモチ	180	2	253±9	87±23	2	2
<i>Myrica rubra</i> ヤマモモ	300	2	406±16	359±130	5	2
<i>Quercus glauca</i> シラカシ	250	1	232	146	3	1
<i>Quercus myrsinaefolia</i> アカガシ	250	1	178	109	3	1
<i>Quercus serrata</i> コナラ	250	2	288±0.7	134±22	3	2
<i>Styrax japonica</i> エゴノキ	250	3	306±3	93±23	2	2
<i>Styrax japonicas</i> エノキ	250	3	243	88	2	1
<i>Abelia x grandiflora</i> アベリア	40	n/a	188±40	138±37	5	19
<i>Callicarpa dichotoma</i> ムラサキシキブ	100	3	85	70	3	1
<i>Camellia sasanqua</i> サザンカ	n/a	n/a	60±10	66±14	5	23
<i>Citrus unshiu</i> ウンシュウミカン	150	3	-	-	-	0
<i>Citrus junos</i> ユズ	100	2	-	-	-	0
<i>Enkianthus perulatus</i> ドウダンツツジ	80	2	89±11	105±2	5	2
<i>Forsythia suspense</i> レンギョウ	50	n/a	113±40	120±34	5	9
<i>Hypericum chinense</i> ビヨウヤナギ	50	n/a	80±26	80±30	5	3
<i>Hydrangea macrophylla</i> セイヨウアジサイ	n/a	n/a	115	140	5	1
<i>Hydrangea macrophylla</i> forma <i>normalis</i> ガクアジサイ	n/a	n/a	116	129.0	5	1
<i>Lespedeza bicolor</i> ハギ	n/a	n/a	261	86	5	1
<i>Rhododendron</i> spp. ツツジ	50	1	24	75	5	1
<i>Spiraea thunbergii</i> ユキヤナギ	50	n/a	89±15	50±17	5	8
<i>Viburnum dilatatum</i> ガマズミ	100	2	175	147	4	1
<i>Zanthoxylum piperitum</i> サンショウ 生け垣	100	1	-	-	-	0
<i>Eurya japonica</i> ヒサカキ	150	17	135±38	51±21	2.8	13
<i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubra</i> ベニバナトキワマンサク	150	17	143±54	78±30	3.4	17
<i>Photinia x fraseri</i> 'RedRobin' ベニカナメモチ	150	17	119±55	74±30	2.2	13

\*Mean ± Standard Deviation

### 3.2 雑草の侵入

2010年6月20日の雑草緑被率を表2に示す。図2に示した14区画は、木本エリア(A, B, C, D) 池エリア(E, F, G, H, I) 草本エリア(J, K, L, M, N)の3つのエリアに分けられ、緑被率はそれぞれのエリアにおける区画の平均を示している。施工時、草本エリアに植えられたコウライシバは完全に消滅し、合計で84.4%の面積が雑草で被われた。木本エリアと池エリアの緑被率は、それぞれ14.5%、40.4%だった。これは草本エリアと比較して、木本が多く植栽されており、日陰が多く防風の役割を果たしていたため、雑草の侵入が防げたことが原因と考えられる。火山砂利で覆われた木本エリアは、最も低い緑被率を示し、除草管理を減らすためにマルチは非常に有効であることが示された。草本エリアは開けているため、多種類の雑草が侵入しており、無脊椎動物にとって食草や蜜源となるものが含まれていた。したがって草本エリアでは、他のエリアと比較し多種類の無脊椎動物が生息していた。しかしセイタカアワダチソウやススキといった大型雑草が占める割合が高く、除草されていなかった期間は景観上好ましくないのが問題であった。屋上緑地に侵入した雑草種の5月から10月までの季節変化を表3に示す。屋上ビオトープでは、雑草を一様に刈り取るのではなく、選択的な除草が必要である。各々の雑草の季節変化を把握することにより、適切な管理の時期を把握することができる。例えば上記で述べられたセイタカアワダチソウやススキは、生長を開始した5月に除草することにより管理を減らすことができる。また比較的観賞価値が高く侵略的ではない種で、蜜源となるミソハギやネジバナ、ヒメジョオン、オオイヌノフグリ、ヘクソカズラ、そしてヤマトシジミの食草になるカタバミなどは、除草せずにそのまま残すほうがよいと思われた。

表2 雑草の緑被率(2010年6月20日)

		平均緑被率(%)		
		木本エリア* (A, B, C, D)	池エリア* (E, F, G, H, I)	草本エリア* (J, K, L, M, N)
<i>Solidago altissima</i> セイタカアワダチソウ	キク科	5.8±1.5	10.0±6.1	34.0±15.2
<i>Miscanthus sinensis</i> ススキ	イネ科	8.5±13.9	15.0±10.0	12.0±8.4
<i>Imperata cylindrical</i> チガヤ	イネ科	0	8.0±8.4	20.0±15.8
<i>Carduus crispus</i> スギナ	トクサ科	0	4.4±3.8	5.0±5.0
<i>Sedum</i> マンネングサ	ベンケイソウ科	0	2.4±4.3	7.0±4.5
<i>Luzula capitata</i> スズメノヤリ	イグサ科	0.3±0.5	0.4±0.9	1.2±2.2
<i>Equisetum arvense</i> オオアレチノギク	キク科	0	0.2±0.4	0.4±0.5
<i>Youngia japonica</i> オニタビラコ	キク科	0	0	0.4±0.5
<i>Anthoxanthum odoratum</i> ハルガヤ	イネ科	0	0	2.0±4.5
<i>Oxalis corniculata</i> カタバミ	カタバミ科	0	0	0.6±1.3
<i>Gnaphalium affine</i> ハハコグサ	キク科	0	0	0.6±0.5
<i>Sonchus oleraceus</i> ハルノノゲシ	キク科	0	0	0.4±0.9
<i>Gnaphalium spicatum</i> ウラジロチチコグサ	キク科	0	0	0.2±0.4
<i>Spiranthes sinensis</i> var. <i>amoena</i> ネジバナ	ラン科	0	0	0.2±0.4
<i>Houttuynia cordata</i> ドクダミ	ドクダミ科	0	0	0.2±0.4
<i>Carduus crispus</i> ヒレアザミ	キク科	0	0	0.2±0.4
Total coverage		14.5	40.4	84.4

\*Mean ± Standard Deviation

表3 雑草の季節変化

外来種	種名	分類群	5月	6月	7月	8月	9月	10月
○	セイタカアワダチソウ	キク科						
○	アメリカオニアザミ	キク科	—					—
○	オオアレチノギク	キク科	—	—				
○	ヒメムカシヨモギ	キク科	—					—
	オニタビラコ	キク科						—
	イワニガナ	キク科			—	—	—	—
	ハルノノグシ	キク科	—					
○	ウラボシチチコグサ	キク科					—	—
	ハハコグサ	キク科				—	—	—
○	ヒメジョオン	キク科	—			—	—	—
	ススキ	イネ科						
	チガヤ	イネ科					—	—
○	ハルガヤ	イネ科				—	—	—
○	オオイヌノフグリ	ゴマノハグサ科			—	—	—	—
○	タチイヌノフグリ	ゴマノハグサ科			—	—	—	—
	ヘクソカズラ	アカネ科	—					
○	メマツヨイグサ	アカバナ科	—					—
	スズメノヤリ	イグサ科				—	—	—
	カタバミ	カタバミ科						
	ヒメクグ	カヤツリグサ科	—			—	—	—
	ドクダミ	ドクダミ科	—	—		—	—	—
○	オランダミミナグサ	ナデシコ科		—	—	—	—	—
○	マンネングサ	ベンケイソウ科			—	—	—	—
	カラスノエンドウ	マメ科			—	—	—	
	ミソハギ	ミソハギ科						
	ネジバナ	ラン科	—			—	—	—
	エビネ							
	ガマ	ガマ科						

### 3.3 無脊椎動物類の生息状況

#### 屋上緑地にみられた昆虫類

屋上緑地にみられた昆虫類のリストを表4に示す。これまでのところ合計39種の昆虫類が観察された。ほとんど管理されていない屋上緑地という厳しい環境においても、多くの昆虫類の生息が認められ、少なくとも21種は幼虫と成虫が混在していることから、この緑地に定着していることが確認された。

表4 屋上緑地にみられた主な昆虫類

種名	目名	科名	寄主植物	定着種
シオカラトンボ	トンボ目	トンボ科		
ウスバキトンボ	トンボ目	トンボ科		
ツチイナゴ	バッタ目	イナゴ科	ハギ、ススキ	○
カナタタキ	バッタ目	カナタタキ科		○
クビキリギス	バッタ目	キリギリス科	ススキ等	○
ササキリ	バッタ目	キリギリス科	ススキ等	○
ツユムシ	バッタ目	キリギリス科	ススキ等	○
エンマコオロギ	バッタ目	コオロギ科		○
シバズ	バッタ目	コオロギ科	シバ等	○
ショウリョウバッタ	バッタ目	バッタ科	ススキ等	○
ハサミムシsp.	ハサミムシ目	ハサミムシ科		○
セイタカアワダチソウヒゲナガアブラムシ	カメムシ目	アブラムシ科	セイタカアワダチソウ	○
ソラマヒゲナガアブラムシ	カメムシ目	アブラムシ科	カラスノエンドウ	○
オオモンシロナガカメムシ	カメムシ目	ナガカメムシ科		
セイタカアワダチソウグンハイムシ	カメムシ目	グンハイムシ科	セイタカアワダチソウ	○
クリイロクチキムシ	コウチュウ目	クチキムシ科		○
ナナホシテントウ	コウチュウ目	テントウムシ科		○
ナミテントウ	コウチュウ目	テントウムシ科		○
ヒメカメノコテントウ	コウチュウ目	テントウムシ科		○
キアシリリツツハムシ	コウチュウ目	ハムシ科		○
サンゴジュハムシ	コウチュウ目	ハムシ科	ガマズミ	○
セマダラコガネ	コウチュウ目	コガネムシ科		
アオスジアゲハ	チョウ目	アゲハチョウ科	アベリア(吸蜜)	
クロアゲハ	チョウ目	アゲハチョウ科	アベリア(吸蜜)	
ナミアゲハ	チョウ目	アゲハチョウ科	アベリア(吸蜜)	
イチモンジセセリ	チョウ目	セセリチョウ科	アベリア(吸蜜)	
チャバネセセリ	チョウ目	セセリチョウ科	アベリア(吸蜜)	
ツマグロヒョウモン	チョウ目	タテハチョウ科		
ホソヒラタアブ	ハエ目	ヒラタアブ科		
クロオオアリ	ハチ目	アリ科		○
クロヤマアリ	ハチ目	アリ科		○
アミメアリ	ハチ目	アリ科		○
クマバチ	ハチ目	ミツバチ科	アベリア(吸蜜)	
ミツバチ	ハチ目	ミツバチ科	アベリア(吸蜜)	

定着種の多くはバッタ目、カメムシ目、コウチュウ目の昆虫であった。これらの昆虫類はこの緑地の建設当時から植物とともに侵入した可能性が高い。またセイタカアワダチソウに寄生するカメムシ目昆虫2種は、外から飛来したものと考えられた。そして本屋上緑化地の昆虫相の特徴としては、カマキリなど肉食性を示すものがほとんどみられないことが挙げられる。このため、ツチイナゴやツユムシ等のバッタ目昆虫を捕食する天敵が不在であることから、これらの種が優占種となっていると考えられた。またチョウ類とトンボ類については地上の種構成と比較を行ったが、屋上緑化地でみられる種は地上に比べ限定されていた。これは屋上という立地条件以外にも吸蜜植物が少ないことや、トンボが利用する水場がないことに起因すると思われるので、こういった昆虫類を増加させるなら、今後は吸蜜植物を多く植栽するなどの対策が必要である。蜜源となる植物は、夏場に少ないため、開花期間が長いもの選定していく必要がある。トンボ類は幼虫期が水生であるため、定着させるには現在休止している池を活用することも必要であろう。

## 植物との関係

今回みられた多くの昆虫は植食性であるため、屋上緑化の植物と密接な関係を示す種もみられた。例えばサンゴジュハムシは寄主食物であるガマズミの葉上でしかみられず、ツチイナゴもその多くはハギの枝上でみられ、葉を摂食していた。また寄主食物という利用以外に生息環境として利用する場合もみられ、クビキリギスは夏の暑い時期には日当りのよい場所よりもヤマモモの木陰やススキの根元等にみられた。

特定の植物を餌としている昆虫の場合、発生量が多くなるといわゆる「害虫」という側面が強くなる。生物多様性屋上緑化の場合、植物の葉を摂食する昆虫をどの程度まで許容するのかについては大きな問題となる。サンゴジュハムシの摂食によりガマズミの葉が穴あきとなっても、印象に個人差はあるもののあまり目立たなかったが、ハギの葉はツチイナゴの摂食ではぼなくなってしまったので、この場合は問題であろう。今後カマキリなどの肉食動物が定着することにより、ツチイナゴ等の個体数は減り、高次消費者との相互関係からさらなる生物多様性が期待できる。またサンゴジュハムシは卵塊で越冬しているが、このときに剪定によって除去しておくなど個体数調整が必要だと考えられた。この緑地では雑草を一部刈り取って管理しているが、一部は残している。夏場の高温時に隠れ場所にもなるススキなどは、一部は残しておくことが必要であろう。



図3 ハギの葉を摂食するツチイナゴ幼虫

## 4. まとめ

本実験結果より、屋上ビオトープのための植栽設計・管理の方針を示すことができた。無管理・無灌水では、多くの高木は強風や乾燥などのストレスにより生長が困難であったため、ヤマモモやクスノキのように屋上環境に適応可能な耐乾性が強い樹種を慎重に選択する必要がある。本実験で使用されたほとんどの低木は、密植することにより無灌水でも生長が良好で、開花も見られた。したがって、このように低管理無灌水の屋上緑化には、高木よりも低木のほうが適している。また木本を多く植栽し、マルチを敷くことにより、雑草の侵入は低く抑えることができる。大型雑草は生長開始時期に除去すると管理が少なくすむが、比較的観賞価値が高く、蜜源や食草となり、侵略的ではないミソハギやネジバナなどの雑草はそのままにしておくことで多くの無脊椎動物の生息地となる。この屋上緑地では、草食性の無脊椎動物が多く見られ、天敵が少ないため特定の植物を摂食しつくすことが問題であった。今後、肉食性の無脊椎動物が誘致できれば、さらなる生物多様性が期待できる。

## 参考文献

島田正文、中村忠昌、柳井重人、丸田頼一（1995）建築物の緑化と昆虫類の生息に関する基礎的研究、第9回環境情報科学論文集 pp35-40

養父志乃夫（1997）市街地ビル屋上におけるビオトープの形成に関する実証的研究、環境システム研究 25、1997年10月

## オリジナル論文

Nagase, A., Nomura, M. and Tashiro, Y. (2010) An evaluation of biotope green roof in Japan, -Plant selection, design and maintenance for biodiversity green roofs-, *Proceeding of World Green Roof Congress, September 2010, London: CIRIA*

田代友利華、蔵品真侑子、山中立造、小堀啓之、永瀬彩子、野村昌史（2010）動植物の生息状況から考える屋上ビオトープの設計・管理、日本造園学会関東支部ポスター発表

## 謝辞

調査に多大なるご協力をいただいた千葉大学園芸学部の田代友利華さん、蔵品真侑子さん、山中立造さん、小堀啓之さんに感謝いたします。

# 集合住宅における屋上園芸を核としたコミュニティ形成と住民意識

御手洗洋蔵<sup>1)</sup> 川上拓也<sup>2)</sup> 木村正典<sup>2)</sup> 宮田正信<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 東京農業大学大学院農学研究科

<sup>2)</sup> 東京農業大学農学部

## 要旨

本研究では、マンション屋上で園芸活動に取り組んでいる住民のコミュニティ形成に対する意識と屋上園芸の実態について調査した。その結果、屋上を住民たちで、ともに管理するコミュニティガーデンとして利用することにより、コミュニティ形成に対する住民意識の高まることがわかった。

## 1. 背景

近年、都市部を中心に家庭菜園への関心が高まっている。個人の庭をもつことのできないマンション住民にとってマンション屋上は、個人宅のベランダ同様に園芸活動を楽しむ場となる可能性を秘めている。また、マンション屋上は住民の共有スペースであることから、屋上ガーデンを住民たちで、ともに管理することにより、コミュニティ形成の核となるコミュニティガーデンとなりえると考えられる。

屋上緑化に対する研究例としては、気象緩和効果や環境負荷削減効果などを調査したものが数多くみられる。一方、屋上園芸の実態や屋上園芸に関わる人々の意識やコミュニティ形成について調査した研究例は少ない。

そこで、本研究ではマンション屋上のガーデンで園芸活動に取り組んでいるマンション住民のコミュニティ形成に対する意識を明らかにするとともに屋上園芸の実態について考察する。

## 2. 研究の方法

### 2-1. 調査対象

調査対象地は東京都荒川区にある超高層マンションに隣接する3階建て低層棟に設置された屋上ガーデンである。ここでは、居住者により構成されたガーデンクラブ（会員数：32名）によって、竣工当初の2002年から、ハーブ、野菜、花および果樹等が栽培、管理されている（写真1）。調査対象は、ガーデンクラブの会員本人（以下、会員）、その家族（以下、会員家族）、および会員ではない住民（以下、非会員）である。

### 2-2. 調査方法

本調査では、ガーデンクラブの会員、その家族、および非会員を対象にアンケート調査を行った。調査対象により質問内容を変えたため、質問数と質問項目の異なる3種類の調査用紙を用いた。アンケート用紙は2008年12月2日に、マンション286世帯の郵便ポストに直接投函し、無記名で居住者一人一人から回答を得られるようにした。調査用紙の回収はマンション一階受付に回収箱を設置して行われた。なお、会員宅には会員・家族用の調査用紙を、非会員宅には非会員用の調査用紙を投函した。アンケート調査の回答率は表1に示す通りである。

また、毎週末の屋上ガーデンでのクラブ活動に参加し、参加人数、作業内容および収穫物の種類・収量等を記録した。

写真1.



表1. アンケートの回答率

	人数(世帯数)	回答率(世帯)	男	女
全体	116人(81世帯)	28%	38人	77人
非会員	70人(57世帯)	22%	20人	49人
会員本人	24人(24世帯)	86%	10人	14人
会員家族	22人(17世帯)	60%	8人	14人

### 3. 結果および考察

#### 3-1. 屋上ガーデンの栽培品目と収穫量

屋上ガーデンで収穫された作物の収穫量を表2に示す。収穫量を種類ごとにみると、年間で、果菜類 16 kg、葉菜類 19 kg、根菜類 13 kg、ハーブ類 6 kg、果実 6 kg で合計 60 kg であった。1回の活動当たりでは平均 1.8 kg であり、これを参加者 1 人当たりの年間収穫量に換算すると 4.6 kg であった。品目別では、ニンジン、オオバ、ニラ、キュウリ、ブドウが上位を占めた。野菜類が上位であったものの、ブドウのような果実の収穫量も多く、屋上のようにかなり土壌厚の制限される場所でも、ブドウなどの果樹栽培が可能であることがわかった。

#### 3-2. マンション住民に対するアンケート調査結果

##### 1) マンション住民との交流に対する非会員の意識

非会員に対してマンション住民との交流について尋ねたところ、「交流したい」もしくは「どちらかといえば交流したい」と回答した非会員は 49%、一方、交流を希望しない非会員（「どちらかといえば交流したくない」＋「交流したくない」）は 10%と少なかった（図1）。また、非会員に対してマンション住民と交流の機会はどのくらいあるか質問したところ、「ある」、「どちらかといえばある」と回答した者は 9%、「どちらかといえはない」、「ない」と回答した者は 72% であった（図2）。このことから、交流を希望する非会員はおよそ半数いるものの、交流の機会のほとんどないことがわかった。

##### 2) ガーデンの意義と住民の意識

マンションの屋上ガーデンの意義、ガーデンクラブ、および園芸活動に関してマンション住民に尋ねたところ、会員や会員家族、非会員であるかに関わらず、「都市温暖化防止など都市環境改善に有効」、「建物の美化に有効」および「癒しや生活の質の向上に有効」について評定平均 3.9 以上と高い値が示された。また、非会員に比べて会員で「ガーデンが住民同士の交流に有効」、「園芸が好き」と考えており、非会員に比べて会員および会員家族で「ガーデンやクラブがマンション全体のコミュニティの活性化に役立っている」と感じていることがわかった。

同様の質問を交流意欲のある非会員と交流意欲のない非会員で比較してみたところ、「都市温暖化防止など都市環境改善に有効」、「建物の美化に有効」および「癒しや生活の質の向上に有効」に関しては両者とも高い評価を示していたが、「住民同士の交流に有効」については、交流意欲のある者で交流意欲のない者に比べ有意に感じていることがわかった。また、交流意欲のない者に比べある者で「園芸が好き」という回答も有意に高かった（表3）。

##### 3) ガーデンクラブへの参加に対する非会員の意識

非会員に対しガーデンクラブに参加してみたいか尋ねたところ、参加を希望する非会員は 41%、希望しない非会員は 21% であった（図3）。クラブへの参加を希望しない非会員に対し、参加しない理由を複数回答で質問したところ、「時間的に厳しい」で 69% と顕著に高かった（図4）。また、交流意欲のある非会員と交流意欲のない非会員でガーデンクラブへの参加希望度合いを比較したところ、交流意欲のある者でクラブへの参加に対し有意に考えていることが明らかとなった（表3）。

##### 4) 園芸活動に対する会員の期待

クラブ会員に対して「園芸活動によってどのようなことが得られると思いますか？」と質問したところ、「強くそう思う」・「そう思う」を合わせた回答は「栽培の楽しみ」（96%）で最も多かった。次いで「収穫の楽しみ」・「人間関係の輪」（88%）、「気分転換・ストレスの解消」・「安全な食料の確保」（75%）の順であった（図5）。従って、会員は栽培や収穫などの園芸活動だけでなく、園芸活動を介した会員同士の交流にも期待していたことがわかった。

##### 5) 会員が園芸活動によって得られたこと

園芸活動によって得られたことについて会員に尋ねた。「強くそう思う」・「そう思う」の回答を合わせた上位 5 項目を挙げると、「マンションの人と挨拶をする機会、回数が増えた」・「園

芸や植物に対する興味や関心が増した」・「人間関係の輪が広がった」(92%)、次いで「専門家のアドバイスが得られた」(88%)、「園芸の知識や技術が得られる」(83%)の順であった(図6)。よって、会員は園芸への興味・関心や技術などが得られたことはもちろんのこと、会員間や他のマンション住民との交流の機会を得られたと感じており、園芸活動が交流のきっかけになったといえる。

#### 6) 園芸活動によって得られたことに対する会員家族の意識

会員が園芸活動に参加することによって、会員本人または家族である自分自身にどのような変化があったかを会員家族に質問したところ、「強く思う」・「そう思う」を合わせた回答の最も多かった項目は「参加している本人が楽しそうだ」・「参加している本人が満足そうだ」

(95%)であった。次いで「近所づきあいが増えた」(75%)、「自分自身、マンションの人と挨拶をする機会・回数が増えた」・「新鮮で安全な野菜・ハーブが利用できる」(65%)であった(図7)。このことから、会員家族は、会員が園芸活動を通じて楽しみや満足感を得ており、また自身もガーデニングクラブの存在によってマンション住民との挨拶や交流の機会を得たと感じていることがわかった。

#### 4. まとめ

本研究は、マンション屋上のガーデンで園芸活動に取り組んでいるマンション住民のコミュニティ形成に対する意識と屋上園芸の実態を明らかにすることを目的とした。

東京都荒川区のマンション屋上のガーデンでは、年間およそ60kgの収穫量があった。1回の活動あたりでは平均1.8kgであり、これを参加者1人当たりの年間収穫量に換算すると4.6kgであった。このことから、屋上ガーデンでは会員一人の収穫量は少ないものの、野菜、果樹、ハーブなど様々な種類の園芸作物を栽培でき、収穫を見込めることがわかった。

居住地であるマンション屋上にガーデンのあることに関して、マンション住民は、都市環境の改善や建物の美化に有効であり、癒しや生活の質の向上に期待できると感じていた。よって、マンション住民は屋上ガーデンを非常に肯定的に捉えているといえる。

ガーデニングクラブ会員は栽培や収穫などの園芸活動だけでなく、活動を介した交流などを期待していた。そして実際の活動を通じて、いずれのことにしても高い満足感を得ていることが明らかとなった。会員家族は、会員がガーデニングクラブ活動を楽しみ、満足感を得ていると感じていた。また、家族の一人がガーデニングクラブに参加していることにより、近所づきあいやマンション住民との挨拶の機会が増えたことを認めていた。このことから、屋上ガーデンがコミュニティ形成に有効であると考えられる。一方、非会員のうちマンション住民との交流を希望する者は約半数いるものの、交流の機会のないと回答した者が約7割にも及んだ。また、非会員の約4割がガーデニングクラブへの参加を希望していることが明らかとなった。よって、屋上ガーデンは交流を望むマンション住民に対し交流の場を提供できるものと考えられる。

このようにマンション屋上を、住民たちが集い交流するコミュニティガーデンとして利用することで、コミュニティ形成に対する住民意識を高めると同時に、彼らの生活の質の向上に期待できるものと考えられる。

表2.コミュニティガーデンにおける上位20品目の年間収量(kg).

ニンジン	6.6	ソラマメ	3.4	レモングラス	2.2	ヤーコン	1.3
オオバ	4.2	ヘチマ	3.2	ジャガイモ	1.8	ペパーミント	1.1
ニラ	4.0	エンドウ	2.5	ハナナ	1.8	カラシナ	1.0
キュウリ	3.8	シュンギク	2.4	チンゲンサイ	1.7	モロヘイヤ	1.0
デラウェア	3.4	マスカット	2.4	サラダゴボウ	1.6	ダイコン	1.0

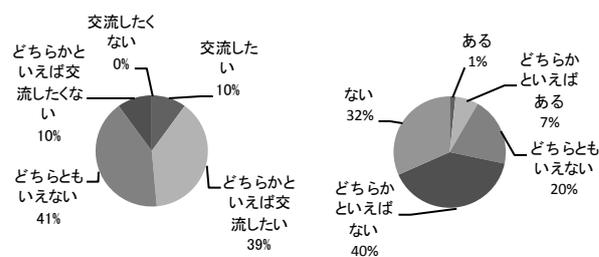


図1.マンション住民との交流についてどう思いますか？  
図2.交流の機会はどの程度ありますか？[非会員]

表3.コミュニティガーデンの意義と住民の意識.

					非会員		
	非会員	会員本人	会員家族	非会員			
				交流したい どちらかといえば交流したい	どちらともいえない どちらかといえば交流したくない		
コミュニティガーデンの意義 <sup>z</sup>							
都市温暖化防止など都市環境改善に有効	4.2	4.4	4.4	n.s. <sup>v</sup>	4.3	4.1	n.s. <sup>u</sup>
建物の美化に有効	4.0	4.1	4.0	n.s.	4.1	3.9	n.s.
癒しや生活の質の向上に有効	4.3	4.4	4.1	n.s.	4.4	4.1	n.s.
住民同士の交流に有効	4.1	4.6	4.3	**	4.3	3.8	**
コミュニティガーデンあるいはガーデンクラブがマンション全体のコミュニティの活性化に役立っていると思いますか <sup>y</sup>	4.1	4.6	4.7	**	4.3	3.9	*
園芸は好きですか <sup>x</sup>	3.9	4.6	—	**	4.3	3.6	**
ガーデンクラブに参加したいですか <sup>w</sup>	—	—	—	—	3.8	2.8	**

z:5強く思う, 4そう思う, 3どちらともいえない, 2あまり思わない, 1全く思わない  
y:5そう思う, 4どちらかといえばそう思う, 3どちらともいえない, 2どちらかといえばそう思わない, 1そう思わない  
x:5好き, 4どちらかといえば好き, 3どちらともいえない, 2どちらかといえば好きではない, 1好きではない  
w:5参加したい, 4どちらかといえば参加しない, 3どちらともいえない, 2どちらかといえば参加したくない, 1参加したくない  
v:Kruskal Wallis検定により \*\*1%水準で有意差あり n.s.:有意差なし  
u:Wilcoxon検定により\*5%水準で有意差あり \*\*1%水準で有意差あり n.s.:有意差なし

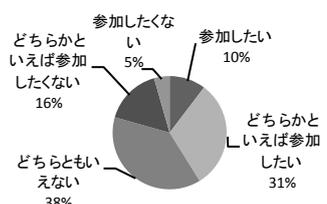


図3.ガーデンクラブに参加してみたいと思いますか？[非会員]

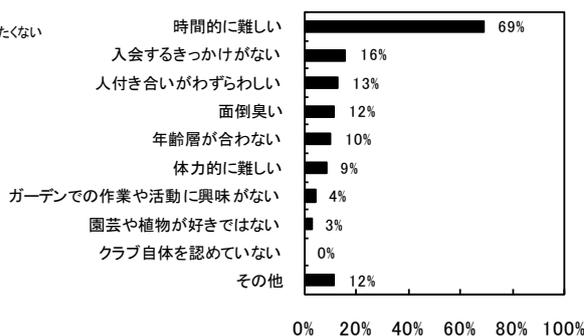


図4.ガーデンクラブへの不参加理由(複数回答可)[非会員]

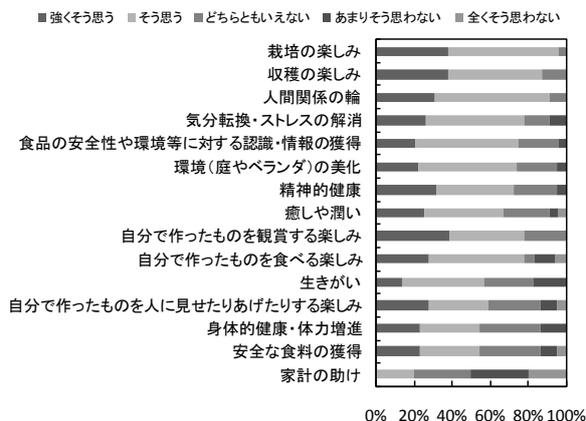


図5. 園芸活動にどのようなことを期待していますか？ [会員]

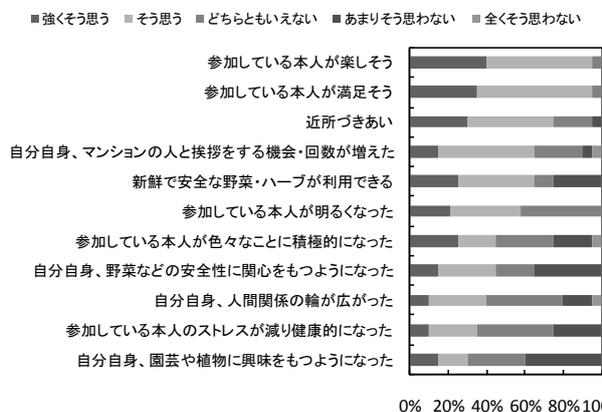


図7. ご家族がガーデンクラブを続けていて良かったことは何ですか？ (抜粋)[会員家族]

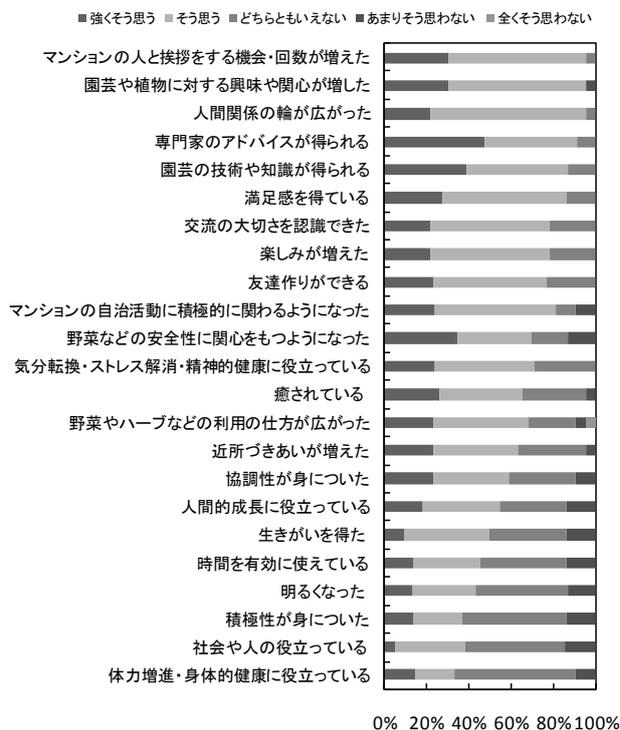


図6. 園芸活動によって得られたことは何ですか？ (抜粋)[会員]

参考文献

木村正典, 川上拓也, 宮田正信 (2009) : 東京都荒川区の集合住宅における屋上園芸に対する住民意識 : 人間・植物関係学会 2009 年大会研究発表要旨, 24-25

# CASBEE における建築緑化評価指標の充実と開発

高橋 萌 (明治大学 農学部 2008 年度卒業)、興水 肇 (明治大学 農学部)

## 要旨

建築緑化の視点で、建築物の環境性能を評価するため、現況調査を行い、緑環境を構成する敷地内緑化、屋上緑化の評価項目を追加した CASBEE 改良案を作成した。妥当性を検証し、改良案が緑環境の性能を定量化するだけでなく、今後の建築緑化の意義把握に有効となることが示唆された。

## 1. 研究の目的

本研究では、建築物の環境性能について、建築緑化の視点で新たに評価するため、2008 年度版建築物総合環境性能評価システム(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency : 以下、CASBEE)<sup>1, 2, 3, 4)</sup>に「敷地内緑化」「屋上緑化」に関する評価項目の追加を試み、評価事例にて妥当性を検証する作業に取り組んだ。

なお、本研究の一部は、2009 年にアトランタで開催された「the 7<sup>th</sup> Annual International Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show」にてポスター発表したものであり、現在、国内学会に投稿準備中である。

## 2. 敷地内緑化、屋上緑化に関する評価項目の選定と CASBEE への導入

### 2-1. 敷地内緑化に関する評価項目の CASBEE 導入

まず、緑の量、緑の質が偏らないよう、CASBEE 認証事例 20 か所<sup>5, 6)</sup>を選定し、CASBEE 評価委員等への専門家へのヒアリングを行い、新たに追加する評価項目を選定した(表 1 参照)。ここで、屋上庭園とは、利用を目的に整備された屋上緑化、屋上緑化とは、ヒートアイランド現象緩和効果等環境改善を目的に整備され、直接的な利用を考慮していないものとした。

定性的評価項目は、敷地内緑化、屋上緑化を対象とした物理的、心理的、生理的環境の評価事例に関する既往文献収集と屋上緑化開発研究会へのヒアリング結果から、具体的評価内容とそれらに対応した 1~3 点からなる評価点を設定した。

表 1 追加評価項目の一覧

	屋上庭園	屋上緑化	敷地内緑化
緑化可能スペース			○
利用可能舗装面積率			○
緑被率	○	○	○
緑地・水面等面積率	水面	○	水面
芝生面積率	○	○	○
石材・木材等面積率	○	○	
植栽種数	○	○	
中高木の本数	○	○	○
常緑樹の割合			○
落葉樹の割合			○
ベンチ	○		
テーブル	○		
植栽配置	○		
植物の状態	○		
周辺環境	○		
安全対策	○		
防犯性	○		
生物環境の利用	○		
施設の設置	○		
使いやすさ	○		

表 2 CASBEE 改良案の評価体系<sup>1, 3, 4)</sup>

Q 建築物の環境品質・性能向上			L 建築物の環境負荷低減性		
大項目	中項目	追加した内容	大項目	中項目	追加した内容
1室内環境	音環境		1エネルギー	建物の熱負荷抑制	
	温熱環境			自然エネルギー利用	
	光・視環境			設備システムの高効率化	
	空気質環境			効率的運用	
2サービス性能	機能性		2資源マテリアル	水資源保護	
	耐用性・信頼性			非再生資源の使用量削減	
3室外環境(敷地内)	生物環境の保全と創出	自然の回復	3敷地外環境	汚染物質含有材料の使用回避	
	まちなみ・景観への配慮	景観形成 都市景観の向上		地球温暖化への配慮	CO2削減 大気浄化
	地域性・アメニティへの配慮	利用性 温熱環境緩和		地球環境への配慮	ヒートアイランド現象緩和
				周辺環境への配慮	

定量的評価項目は、渋谷(2005)<sup>7)</sup>に基づき、22か所のデパート屋上の空中写真判読と3か所の現地調査から追加評価項目に対応するデータを計測した。計測データ間の関連性を把握するため、因子分析を行い、屋上庭園については「自然の回復・景観形成」、「利用性」、屋上緑化については「都市景観の向上」、「温熱環境の緩和」と解釈した。そして、これら抽出された各因子の解釈をもとに、CASBEEのQ3：敷地内環境とL3：敷地外環境に対応させ、各評価項目の因子負荷量を用いて、評価点を設定し、評価Pは評価点に重み係数を乗じて算出した。表2に、以上の作業から、敷地内緑化、屋上緑化に関する評価項目を追加したCASBEE改良案を示す。

## 2-2. 改良前後のCASBEEの比較 (図1参照)

作成した改良案とCASBEE既存(2008年度版)とを比較し、課題や問題点の検証を行った。緑に関連する項目だけでBEEはどの程度上昇するのかを確認するため、緑に関する項目のみを用いた環境性能効率【緑のBEE】を算出した。既存では、緑のBEEは0.2、改良案では0.4となった。次に、BEEの最高ランクSが3.0以上であることから、Sランクの達成への緑の寄与率を明らかにするため、緑のBEEを3.0で除したものに100を乗じた【緑の寄与率】を算出した。既存では緑の寄与率は7%、改良案では13%となった。以上、結果をレーダーチャートで示した結果、新たな評価項目を追加したQ1の室外環境とL3の敷地外環境で変化が確認できた。

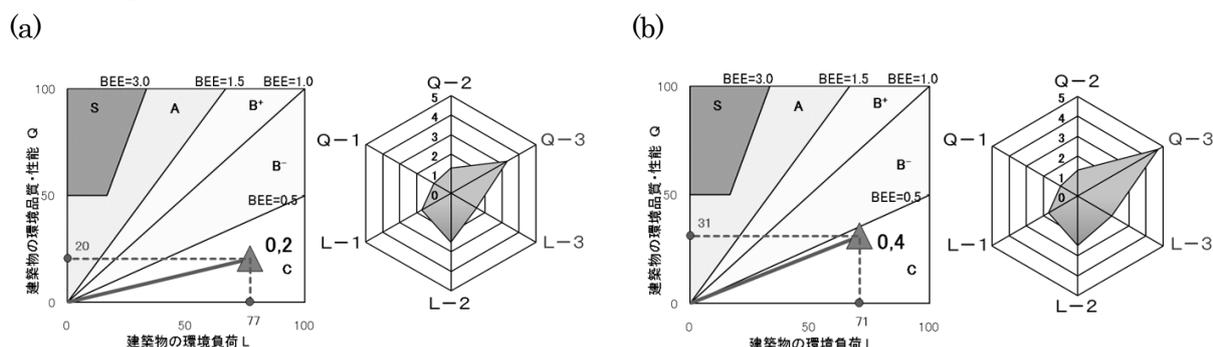


図1 緑のBEEと環境性能評価結果のレーダーチャートを示す。(a)はCASBEE既存(2008年版)を使用して算出した場合、(b)は本研究により緑の量的・質的評価項目を拡充した新たな評価指標(CASBEE改良案)

## 3. 改良案に実際の建築物を適用させたシミュレーション

改良案の精度を確認するため、CASBEE評価事例を対象に改良前後のCASBEEを用いたシミュレーションを行った。現状の評価結果を基準に、全評価項目のうち緑に関する項目のみを最低レベルと最高レベルにした場合のBEEを算出し、レーダーチャートによってQ3とL3の変化を把握した(表3参照)。

現状の評価結果BEE=3.7のSランクを示した日産先進技術開発センター<sup>(注1)5, 6)</sup>では、緑のレベルを変化させた場合、改良前ではSランク、改良後ではSからAに下がった。レーダーチャートを見ると、改良後のQ3とL3の両方が変化しており、全体評価における緑の影響力が大きくなったためと考えられた。

現状の評価結果BEE=4.0のSランクを示したオフィスビル<sup>(注2)5, 6)</sup>では、緑を最高レベルとした場合、改良前のBEEは5.9となり、他の評価事例と比較しても、この値は異常値であることが考えられた。逆に、改良後のBEEは4.7と現実的な値になり、緑の評価を追加したことで妥当な評価が可能なツールになったことが示された。

表3 CASBEE 評価事例を対象とした改良前後の評価シミュレーション

	改良前 <sup>5, 6)</sup>	改良後
日産先進技術開発センター	<p>緑:最低レベル</p> <p>76 Q S A B<sup>+</sup> 3.3 B<sup>-</sup> C 23 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>85 Q S A B<sup>+</sup> 4.1 B<sup>-</sup> C 21 L</p>	<p>緑:最低レベル</p> <p>69 Q S A B<sup>+</sup> 2.6 B<sup>-</sup> C 25 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>85 Q S A B<sup>+</sup> 4.0 B<sup>-</sup> C 21 L</p>
オフィスビル	<p>緑:最低レベル</p> <p>67 Q S A B<sup>+</sup> 3.6 B<sup>-</sup> C 19 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>83 Q S A B<sup>+</sup> 5.9 B<sup>-</sup> C 14 L</p>	<p>緑:最低レベル</p> <p>66 Q S A B<sup>+</sup> 2.5 B<sup>-</sup> C 26 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>84 Q S A B<sup>+</sup> 4.7 B<sup>-</sup> C 18 L</p>
Honda 和光ビル	<p>緑:最低レベル</p> <p>70 Q S A B<sup>+</sup> 2.9 B<sup>-</sup> C 24 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>78 Q S A B<sup>+</sup> 3.6 B<sup>-</sup> C 21 L</p>	<p>緑:最低レベル</p> <p>61 Q S A B<sup>+</sup> 1.8 B<sup>-</sup> C 33 L</p> <p>緑:最高レベル</p> <p>73 Q S A B<sup>+</sup> 3.9 B<sup>-</sup> C 19 L</p>

現状の評価結果 BEE=3.6 の S ランクを示した Honda 和光ビル<sup>(注3)5. 6)</sup>では、緑のレベルを変化させても、改良後も BEE の値は現実的な変化を示し、異常値を取ることもなかった。

#### 4. 考察及び今後の課題

緑のレベルを変化させたところ、BEE のランクは改良前の CASBEE では S ランクのままであったが、緑を重視した改良後では S から A へと現実的な変化を示し、異常値を取らないことが確認できた。以上の結果から、緑の寄与率が 13% である改良案は緑を過大評価することもなく、実際の建築物に適用可能なレベルの精度を有していることが示されたため、緑を適正に評価できる環境性能評価手法になったことが示された。改良後の CASBEE では緑の評価項目を建築物の評価項目と同等に扱ったため、こうした配慮から、本研究の成果は環境性能評価における建築緑化の意義を正當に評価できたと考える。

緑の質に関する評価項目を改良前の CASBEE に重点的に追加したことで、改良後の緑の寄与率は約 2 倍になった。しかし、緑の寄与率=13% という結果の妥当性については判断することができなかった。建築物の環境性能評価を議論する上で、建築に関する評価項目と緑に関する評価項目の最適比率を検討することは今後の重要な課題である。そのためには、実測値を用いた比較・検討(シミュレーション)を繰り返し行い、理論値による結果の妥当性を確認する必要がある。また、地上の緑化を加え、さらに検討することも重要である。今回は、S ランクの評価結果を与えられた建築物にのみ、改良案を適用させたが、A、B+、B-、C ランクの様々な用途の建築物を対象にシミュレーションを行うことで、評価ツールとしての精度を向上させることが可能となる。そうすることで、建築物の環境性能評価に建築緑化がどの程度影響力をもつのかという「建築緑化の意義把握」に有力な示唆を与えることが期待される。

#### 5. 補注及び参考文献

(注 1) 2007 年に神奈川県厚木市に建設された敷地面積 37,597 m<sup>2</sup>、建築面積 15,988 m<sup>2</sup>の事務所用途建築物。

(注 2) 2005 年に建設された敷地面積 4,713 m<sup>2</sup>、建築面積 3,055 m<sup>2</sup>の事務所用途建築物。

(注 3) 2005 年、埼玉県和光市に建設された敷地面積 97,729 m<sup>2</sup>、建築面積 14,774 m<sup>2</sup>の事務所用途建築物。

1) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構(IBEC) : CASBEE 建築環境総合性能評価システム <[www.ibec.or.jp/CASBEE](http://www.ibec.or.jp/CASBEE)>

2) 吉崎真司(2008) : 特集「建築物緑化による都市の環境改善」 CASBEE における緑環境の評価、日本緑化工学会誌、34(2)、pp.350-354

3) 一般社団法人 日本サステイナブル建築協会(JSBC) : CASBEE-既存 評価マニュアル(2008 年版) : 財団法人 建築環境・省エネルギー機構(IBEC)

4) 一般社団法人 日本サステイナブル建築協会(JSBC) : CASBEE-既存 評価マニュアル(2006 年版) : 財団法人 建築環境・省エネルギー機構(IBEC)

5) 村上周三ほか(2005) : 実例に学ぶ CASBEE—環境性能の高いサステナブル建築はこうつくる、日経 BP 社、pp.271

6) 村上周三ほか(2004) : CASBEE 入門—建築物を環境性能で格付けする、日経 BP 社、pp.198

7) 渋谷八千代(2005) : 立地の違いがデパート屋上の緑の意義に関する研究、2004 年度 明治大学農学部卒業論文

# パトリック・ブランの「垂直の庭」における設計理念と配植手法

深水崇志 (千葉大学大学院園芸学研究所)

## 要旨

パトリック・ブランが制作する「垂直の庭」について、文献調査や植物配置図の分析を行った。それにより熱帯雨林の風景や階層構造、生態系における生物間の相互作用といったものを、「垂直の庭」の中に再現しようとする、ブランの設計理念と配植手法が明らかになった。

## 1. はじめに

### 1-1. 研究の背景 -パトリック・ブランの「垂直の庭」の概要-

フランス人植物学者パトリック・ブラン (Patrick Blanc、1953-) が制作している「垂直の庭 (Mur Végétal)」は一つの壁面に多彩な植物が混植された、意匠性の高い壁面緑化である。「垂直の庭」は現代美術の作品としても評価される、壁面緑化の中でも稀な事例である。

### 1-2. 本報告の目的と位置づけ

「垂直の庭」に関して、本報告において着目したい点は、「生物多様性」を感じさせ、「生態系を再構成」するという「垂直の庭」における理念と手法についてである。「垂直の庭」では自然の多様性や働き、構造などが、その設計理念や植物の配置手法へ反映させられている。そのような点について明らかにし、報告を行う。

## 2. 「垂直の庭」の構造

### 2-1. 植栽基盤の構成

植栽基盤としての不織布は、3層構造になっている。厚さ1mm程度の不織布2枚の間に、補強用に目の粗い農業用ネットが挟み込まれている (写真-1 参照)。

### 2-2. 「垂直の庭」の耐用年数

「垂直の庭」は、最低限の維持管理によって少なくとも30年間は維持できると、ブランは述べている。基盤材料である不織布の劣化してきた部分のみを新しいものに交換することによって、長期間維持することが可能になっている (写真-2 参照)。

「垂直の庭」の中には、既に制作から10年以上が経ち、植えられた樹木が3mから4mの高さに成長している事例も見られる (写真-4 参照)。

## 3. 「垂直の庭」の事例

現在までに「垂直の庭」は世界各地で制作されており、その事例数は公表されているものだけで124事例を数える (2010年8月現在)。本報告で着目した特徴的な事例について詳細を以下に述べる。

### 事例1) 生物間の相互作用 : Parc Floral, Paris (1994)

この事例は、パリの郊外に位置する広大な公園内に設置されている事例である (写真-3 参照)。この事例では、ブランが「バーティカル・ラグーニング (Vertical Lagooning)」と呼ぶシステムが働いている。「垂直の庭」と、隣接する魚やカモやカメが生息する池との間で、水が循環しており、動物の排泄物等から発生した硝酸塩や、単細胞藻類が「垂直の庭」の植物に養分として吸収される一方、この働きにより水が浄化されている。

### 事例2) 熱帯雨林の風景の再現 : Emporium Shopping Mall, Bangkok (Thailand) (2005)

熱帯雨林の「lush (勢いよく繁茂する様子)」の雰囲気再現されている。エレベーターに沿って設置された垂直の庭は、実際の熱帯にある樹の幹のプロポーションとほぼ同じ幅

1m 高さ 30m の大きさがあり、約 50 種の着生植物が植えられている（写真-5 参照）。

### 事例 3) 多様性の表現 : Fondation Cartier, Paris (1998)

温帯の植物を用いて生物多様性を表現しようと意図された事例である。制作された当時、まだ生物多様性についての議論は熱帯域に限られていた。屋外の多様性に対し、屋内の壁面にはコケやシダなど数種類の熱帯植物で、控えめな印象の「垂直の庭」がつけられた。

## 3. 「垂直の庭」の開発に至る経緯

### 3-1. 植物学者としてのパトリック・ブラン

パトリック・ブランは植物学者であり、特に熱帯雨林の林床の植物を専門としている。調査中に見た熱帯雨林の林床の環境や、滝、湿った岩、森の小川、崖の断面、着生植物が付着した幹や枝などが、大きく影響していると述べている。

### 3-2. アクアリウムからの影響と幼少期の実験

次に、ブランの幼少期から「垂直の庭」の制作に至るまでの経緯について概観する。

- 1) 幼少期に初めてのアクアリウムを入手する: ブランが 5 歳のとき、初めて見たアクアリウムの多様な植物と魚に感動したことを述べている。その後すぐに、自宅に小さなアクアリウムを入手する。このときからブランは、水草や魚、バクテリアとともに、水の濾過や保温、照明などによって維持される「小さな生態系」に熱中するようになる。
- 2) 植物の根によってアクアリウムの水質の浄化を行う: 1968 年の 15 歳のとき植物の根が窒素化合物を吸収し、アクアリウムの水を浄化できるという記事を読む。リビングで育てていたフィロデンドロン（実際には *Monstera deliciosa* だった。）を切り取り、自分のアクアリウムのフィルターへ根を張らせる実験を行う。
- 3) アクアリウムから滝、壁面緑化への展開: 1968 年から 1971 年にかけてさらに実験を行う。アクアリウムを机の上から床に移し、フィルター部分に高さが約 180cm の竹の格子を固定し、匍匐性のサトイモ科植物を這わせた。またさらに竹の格子から、薄いプラスチックのシートをかぶせた木の板に替え、上から滝のように水を流し、そこに植物を固定するなど改良を行った。
- 4) 「垂直の庭」の完成: アクアリウムの上の自作の滝を天井まで拡張する。さらに、コケやブロック状のピート、ココナッツ繊維シート、鉱物綿、綿製のフロアクロスなどを板へと取り付け、培地としての適性を検証した。

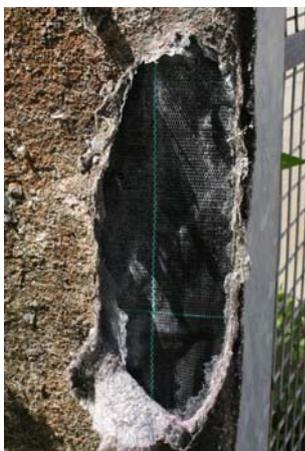


写真-1 Square Félix Jacquier, Lyon (1999)  
表面のフェルトが破れ補強用ネットが露出している。



写真-2, 3 Parc Floral, Paris (1994)



写真-4 Centre commercial Passages, Boulogne-Billancourt (2001)



写真-5 Emporium Shopping Mall, Bangkok (2005)

1977年には底面灌水のための不織布に着目する。その「底面灌水シート(irrigationlinning)」を培地として取り付け、現在の「垂直の庭」と同じシステムが完成する。このブランの自宅にある最初の「垂直の庭」は現在まで維持されている。

**5) 屋外の「垂直の庭」の制作:** 1991年には自宅の中庭に、初めて屋外の「垂直の庭」を制作する。その後、1994年のパリのガーデン・フェスティバルにおいて、「垂直の庭」を制作すし、その際高い評価を得たことで、現在までの「垂直の庭」の制作活動へ至る。

### 3-3. 小結

「垂直の庭」の制作に至る背景には、ブランの幼少期からの長年の取り組みがあった。また、植物と魚などとの相互作用による水質浄化の手法も、「垂直の庭」の原型がアクアリウムであったことを考えれば、当然の手法のように思われる。

## 4. 「垂直の庭」の配植手法

### 4-1. 「垂直の庭」における配植手法の概要

#### 1) 配植手法の概要

ブランは植物の配置を決める際に、設置される場所の用途や気候条件などの環境的要因を基に、求められるデザイン、全体のパタン、使用する植物性質などを考慮して、独自の「プラント・シーケンス (PlantSequence)」と呼ぶ構成を壁面上に組み立てている。

特に植物の性質としては、視覚的特性(葉の色・質感、形態、季節変化など)や生理的特性(適した光量、水分量、温度、植える密度など)、概念的特性(原産地、自生地での生息する階層など)といった様々な性質を考慮して配置を行っている。

#### 2) 植物配置図

以上のような「垂直の庭」の配植手法を示すものとして、ブランが「垂直の庭」を制作する際に作成する手描きの図(以下「植物配置図」)がある。手描きの曲線で複雑に分割され各区分に、植えられる植物種の学名が記入されている。

### 4-2. 配植手法の分析

#### 1) 考察の対象と方法

屋内事例の「マリテ+フランソワ・ジルボー御堂筋店」と、屋外事例の「金沢21世紀美術館『緑の橋』」の2事例を考察の対象とした。

考察の方法として、まず上記の2事例の植物配置図から使用されている植物種名を読み取り、各植物種の性質や特徴について調査した。次に調査した植物の特性を基に、植物配置図上で色分けを行った。本報告では、次の植物の性質について分類を行った図を掲載している。

##### ①好陽性による分類を行った分析図

各使用植物種の好む光環境(以下「好陽性」)に着目し、それぞれを日向、日向/半日陰、半日陰、半日陰/日陰、日陰の5段階に分類し、植物配置図上で色分けを行った。

##### ②季節変化と階層による分類を行った分析図

まず各植物種の大きさと森林内で属する階層から、低木類と草本類に分類した。さらに季節変化の性質も加えて次の4種に分類した。すなわち①常緑性多年草と、②宿根性及び夏緑性多年草、③常緑性低木、④落葉性低木であり、同様に植物配置図上に図示した。

### 3) 考察の結果

#### ①森林の階層構造に類似した配置

図-1と図-2を見ると、大きく成長する低木が壁面の上部へ、草本がその下部へと配置されている傾向が読み取れる。植物が成長した場合を考えると合理的な配置と言える。

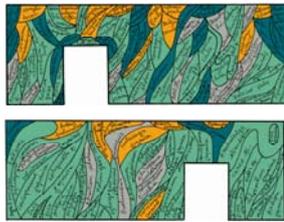


図-1 金沢 21 世紀美術館「緑の橋」  
植物の季節変化による分析図

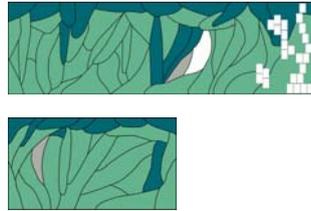


図 - 2 「マリテ+フランソワ・ジルボー御堂  
筋店」植物の季節変化による分析図

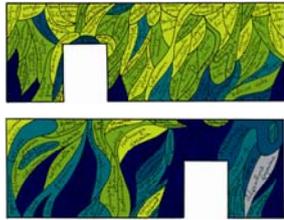
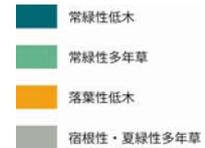


図-3 金沢 21 世紀美術館「緑の橋」  
好陽性による分析図

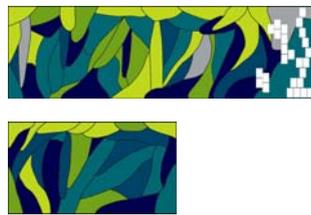


図-4 「マリテ+フランソワ・ジルボー御堂  
筋店」好陽性による分析図



## ②植物の季節変化を考慮した配置

屋外事例である図-1を見ると、落葉性や宿根性の植物は一部に固めて配置されておらず、近くに常緑性の植物が配置されている。屋内事例である図-2の場合、全て常緑の植物種で構成されていることが分かる。

## ②植物の好陽性を考慮した配置

図-3と図-4を見ると、上部に明るい場所を好む植物が、下部に日陰を好む草本が配置されている傾向が読み取れる。これにより上部に配置された植物が下部の植物への日射を遮る効果が期待できるため、合理的な配置と言える。

また考察①の結果と合わせると、森林の階層構造と類似した配置と考えられる。

## 5. まとめ

### 5-1. 研究の成果

以上のことから、「垂直の庭」の設計理念として①生物間の相互作用の再現と②熱帯雨林の風景の再現、③生物多様性の表現が得られた。

また配植手法として、植物の①大きさや②季節変化、③好陽性を考慮した、植物生理上合理的な配置がなされていることが確認できた。また、④森林の階層構造を反映させた概念的な配植手法についても明らかになった。

### 5-2. まとめ

以上のことから「垂直の庭」は視覚的、概念的な自然の再現に加え、生物間の相互作用など、生態系の動的な働きも内在したものとなっていることが分かる。植栽部分だけでなく、水や光、その他の生物との関係性を総合的に関連付ける方法など、今後の壁面緑化の付加価値増大のために、学ぶべき点は多いと言える。

## ■参考文献

- 1) DwellLlc.(2006.11):GardenApartment:DwellMagazine
- 2) PatrickBlanc(2007):Introduction:Foliesvégétales:France:EditionsduChêne,
- 3) PatrickBlanc(2008):TheVerticalGarden-FromNaturetotheCity:WWNorton&CoInc
- 4) listofworks:PatrickBlancofficialsite<<http://www.murvegetalpatrickblanc.com>>, 2010.8 更新

## ■以下の初出論文を基に執筆

深水崇志、赤坂信 (2009):パトリック・ブランの“垂直の庭”における設計理念と設計手法について:日本造園学会関東支部大会事例・研究報告集、第27号、2-3

# 在来植物を用いた壁面部緑化

大澤 啓志（日本大学生物資源科学部）

## 要旨

歴史的風土都市・鎌倉市に生育するケイワタバコに着目し、切り通し等を想定してフトン籠側面での生育試験を行った。自生地における壁面岩盤への固着様式を調べるとともに、鎌倉市域での本種群落分布の把握を行った。また、壁面部緑化に適した在来ツル植物種の検討も行った。

## 1. はじめに

生物多様性時代の今日、例え特殊緑化と言えども少なくとも姿勢としては、その保全・修復に寄与し得る手法を模索する必要がある。これには、地域性系統を意識した在来植物による緑化が該当するが、特定の地域色の強いものから、汎国内的なものまでさまざまであり、対象植物の生活型や生育特性を把握しつつ、技術的な緑化手法を検討していく必要がある。また、単に「緑で覆う」ことから、特定のハビタットを復元・創出するという視点も将来的には求められ、目標となる生物群集を意識した立地や基盤条件の設定が課題となる。これらに関わる研究事例を幾つか紹介する。

## 2. 鎌倉の郷土景観を意識したケイワタバコでの試験<sup>1)</sup>

### 2-1. 背景

本研究では、歴史的風土都市・鎌倉市に生育するケイワタバコ (*Conandron ramondioides* Siebold & Zucc. var. *pilosum* Makino) に着目し、切り通し等を想定してフトン籠側面における緑化手法を検討した。

ケイワタバコは、イワタバコ科イワタバコ属の多年草で、基本種のイワタバコ (*C. ramondioides* Siebold & Zucc.) と同様な環境に生え、形態も類似する。花茎・花序・葉裏面の毛の有無に加え、葉の形、花期等においてもかなり異なり、変種として扱われる<sup>2)</sup>。神奈川県内では、丹沢・箱根地区と鎌倉・三浦半島地区に分布する<sup>2)</sup>。

対象とした鎌倉市は、後背部の丘陵地のほとんどが第三紀の三浦層群によって形成されている。このため、谷戸斜面には母岩であるシルト岩や砂岩が露出している露頭や切り通しが各所にみられ、これら岩壁の被陰地にはシダ植物を伴ったイワタバコ（ケイワタバコ）群落がみられる<sup>3)</sup>。自然的な地形・地質条件による露頭や、鎌倉幕府設置に伴う歴史文化的な切り通しの壁面に、本種の葉・花が密生する様子は美しく、地域固有の景観を作り出しているといえる。この群落の成立する立地は、極度に乾燥し日射量が少ない厳しい環境条件の場所、または岩壁からの浸出水によって絶えず湿っている場所、と乾湿両極端な立地に生育している特殊な群落とされる<sup>3)</sup>。一方、1960年頃からの市域の宅地開発ブームにより、その生育地は大きく減少したものと推察され、現生育地の保護・保全のみならず、緑化基盤の整備による復元や創出を検討することは意義あることと考えられる。

### 2-2. 方法と結果

本試験では、鎌倉市域の谷戸（鎌倉市東部の旧華頂宮邸敷地内）に設置したフトン籠の人工壁面上にケイワタバコを試験移植し、その後の活着状況を追った。試験用のフトン籠は、ケイワタバコが生育分布する谷戸の東側斜面際に沿って4箇所置き、対照として西側斜面際にも1箇所置いた。なお、地点2~4は、ケイワタバコが自生する壁面の直下である。用いたフトン籠は、高さ100cm×幅80cm×奥行き50cmの直方体で、転倒防止のため下部

10cmを地面に埋め込んで設置した。フトン籠の内側に廃棄カーペット（化繊素材）を取り付け、土壌を充填した。フトン籠は東西方向に設置し、仕切りにより東西方向に左右で土壌の種類（赤土、腐葉土、荒木田土、山砂、黒土の5種類）を変えて試験を行った。

2007年夏期（7月中旬）および2008年の初夏期（5月上旬及び6月中旬）に移植を行い、その後の生育を追った。その結果、2007年の夏期に移植では、全般に活着率が低かった。特に2007年の9月時点で半数以上が枯死していた。以後は、2007年11月には60株中21株が残ったものの、翌2008年の夏期にかけても徐々に枯死が認められ、2008年11月の最終的な活着率は9株で15%に止まった。土壌の種類別では、荒木田土と山砂がやや活着率が高く、腐葉土では全てが枯死した。2008年の初夏期に移植では、地点5を除き、活着率は33～71%であり、土壌の種類よりも地点の違いが活着率に反映されていた。

以上より、移植時期は初夏期が適していること、特に夏期には枯死個体が多くなること、活着すれば越冬しての翌年の生育も期待できること、土壌の種類は荒木田土か山砂を好むこと、方位は概ね既存の自生群落と同じ向きを好むこと、地際よりも壁面の中庸の部位が適していることが明らかになった。

### 2-3. ケイワタバコの岩盤固着様式

先述のとおり、ケイワタバコ群落の分布は、自然的な露頭や人為的な切り通しの壁面である。このような岩盤地では根を岩盤中に伸ばすことは一般に困難であるが、本種は岩の表面上にどのように固着し生育しているのかが不明なため、まず根の展開様式を実態調査した。調査は、本種が自然分布し、群生が見られる建長寺境内の南西向きの直壁において、葉が落ちて観察しやすくなる秋季に、株の中心から各方向別の根の先端までの直線距離を計測した。

46株について計測した結果、根は平均5.15本（最大11本～最小2本）、1本当たりの根の長さは平均39.4mmであった。観察の限りでは、岩を割って根を伸ばしているものは認められず、全て岩の表面上に展開していた。方向別では、やや左下が多かったものの株を中心に上下左右に万遍なく放射状に根を展開していた（図1）。しかし、株の基部からも付着根状のものが多数生えており、四方に伸ばした根との両方で岩に固着していると考えられる（写真1）。

一方、水分供給の面からも岩壁面は厳しい環境といえる。その意味では、四方に広げた根は、岩表面上の表層水や露から水分を得るためには効果的である。この水分供給が得られる立地が、本種の生育の鍵になっている可能性が強く、無灌水管理による緑化を想定した場合は、適地の選定が課題となる。

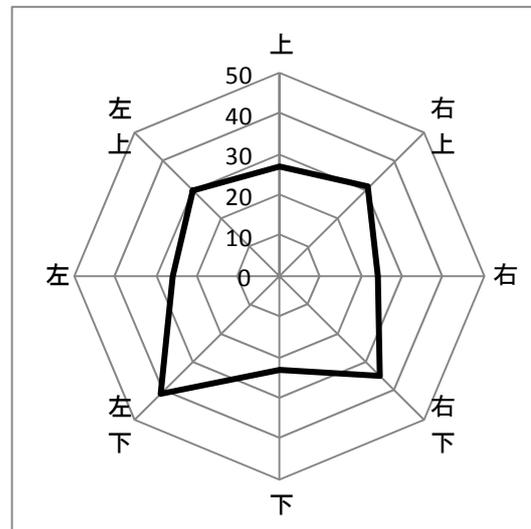


図1 伸長方向別の根の本数 (N=46株)



写真1 岩表面への固着状態  
(ピンは根の先端)

## 2-4. 鎌倉市域におけるケイワタバコ群落の分布状況

ケイワタバコによる壁面部の緑化は、景観面では濃緑色の葉と初夏の紫色の花で特徴づけられる。一方、ケイワタバコ群落が成立するハビタットの創出という視点では、同様のハビタットに生育する生物群集の復元が目標になる。鎌倉市域では、ケイワタバコ、ミツデウラボシ、コモチシダなどを標徴種・区分種とするミツデウラボシ-ケイワタバコ群落としてまとめられており<sup>3)</sup>、他にもホトトギス、ヒメカンスゲ、マルバウツギ、キツタ、ヤマツツジ、テイカカズラ、ウツギ、コアカソ等が生育する。これらは岩隙性の草原というハビタットであり、これが鎌倉の露頭や切り通しの岩壁の緑景観を特徴づけている。

鎌倉市域でのこの群集の分布は図2に示すとおりであるが、これは立地条件別の各種ハビタットの分布図(ビオトープマップ)を作成<sup>4)</sup>するために、全域を悉皆的に踏査してまとめて群集相観が得られた地点をプロットしている。滑川流域の縁辺部に沿う形に点在するが、やや離れて散在が池でも確認されている。なお、これら以外にも非常に小規模な群落や個人宅に移植されたものも、市域には多く存在すると推察される。観察の限りでは、まず半日陰地であることで、岩表面は岩壁からの浸出水によって濡れている場合もあれば、乾燥している場合もある。谷戸等で地形的に囲われ、岩壁直下に小河川・水路がある場合も多く、全体に湿度が高いと感じられる。この湿度の高さから、夜間に生じる結露がケイワタバコの水分供給に寄与しているという指摘<sup>5)</sup>もあるが、結露が生じることが群落成立の必要条件となっているのかは、今後より詳細な調査が要る。いずれにしろ、壁面部にケイワタバコを含む岩隙性の草原を復元・創出するには、定期的な滴下もしくは噴霧等による灌水に加えて圍繞的な空間とすることで湿度が保たれる工夫が求められる。

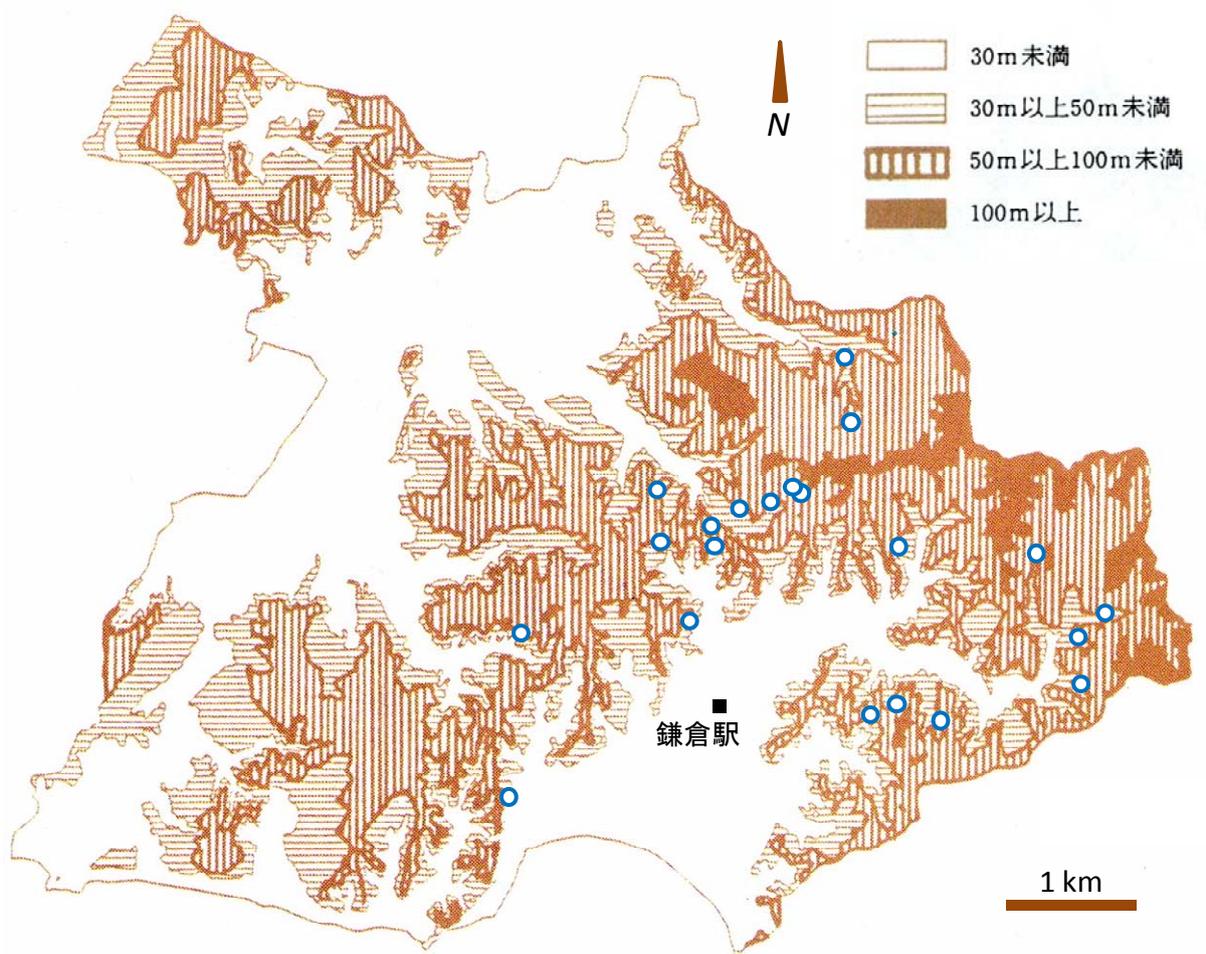


図2 鎌倉市におけるミツデウラボシ-ケイワタバコ群落の分布 (2002-2003年調査)

### 3. 壁面部緑化に適した在来ツル植物種の検討

#### 3-1. 緑化植物の選出

壁面部の緑化で在来植物、それも地域性系統を意識したものを利用することは、「生物多様性緑化」として、これまでに無い付加価値をもたらす。スクリーン仕立ての場合を除き、壁面部の緑化には、木本のツル性植物が用いられるのが一般的である。また、通年の緑覆効果を期待する場合は、常緑樹であることが望ましい。そこで、我が国には約 8,000 種の野生植物が生育するとされる中から、壁面部の緑化に適した種の抽出を行った。

まず「草本種」を除く「木本」の「ツル植物」として 89 種が認められた。この内、「落葉性」を除く「常緑樹（半常緑も含む）」は 50 種である。さらに、自然分布域が琉球・奄美や小笠原の島嶼に限られる種（19 種）、九州・四国・本州にも分布するが局所的な種（10 種）、そして亜高山帯域の 1 種を除くと、本州を含み広範囲に分布するのは 12 科 20 種となる（表 1）。なお、同様に分布域で抽出すると、落葉性のツル植物は 26 種であった。これらが壁面部緑化の候補種となるが、種レベルのみならず地域性系統レベルまで考慮すると、地元で山採り（苗木・実生・種など）を行っている、あるいは既に地域性種苗を生産しているナーセリーとの連携は欠かせない。

表 1 緑化における在来ツル植物種の候補

常緑性ツル植物		落葉性ツル植物		
イタビカズラ	キヅタ	チョウセンゴミシ	ナツフジ	オオクマヤナギ
ヒメイタビ	オオツルコウジ	マツブサ	フジ	サンカクヅル
オオイタビ	ホウライカズラ	アケビ	ヤマフジ	アマヅル
サネカズラ	サカキカズラ	ミツバアケビ	ツタウルシ	ヤマブドウ
ムベ	ケテイカカズラ	サルナシ	イワウメヅル	エビヅル
ミヤマフユイチゴ	テイカカズラ	マタタビ	ツルウメモドキ	ツタ
フユイチゴ	カギカズラ	ミヤママタタビ	オオツルウメモドキ	
ツルマサキ	スイカズラ	イワガラミ	クロズル	
ツルグミ	ハマニンドウ	ツルアジサイ	クロタキカズラ	
オオバグミ	キダチニンドウ	ジャケツイバラ	クマヤナギ	

\*ツル性木本類の内、本州を含む広範囲に分布する種を抽出した。

#### 3-2. フトン籠での生育実験

先の候補種の内、苗木に市場性が有る種を用いて、フトン籠壁面（内部基盤：パーライト系人工土壌）での生育試験を現在行っている。特に都市域での緑化を想定した場合、早い生長速度は初期被覆の点では評価できるが、過繁茂に対する管理面ではこれは必ずしも好ましいものではない。むしろ、緩やかな成長であっても枯死率が低く、着実に被覆面積を増やせる形質が望ましいと考える。また、ツルの伸長形態や葉の付き方等の形質も評価指標になると考えられる。

#### 引用文献

- 1) 徳永絵里・大澤啓志・勝野武彦（2009）フトン籠を利用したケイワタバコ（*Conandron ramondioides* var. *pilosum*）の復元・緑化手法，日本緑化工学会誌 35(1)，123-125.
- 2) 神奈川県植物誌 2001（2001）神奈川県植物誌調査会，神奈川県生命の星・地球博物館，1580pp.
- 3) 宮脇昭他（1973）鎌倉市の植生，鎌倉市，114pp.
- 4) 大澤啓志・山下英也・森さつき・石川幹子（2004）鎌倉市を事例とした市域スケールでのビオトープ地図の作成，ランドスケープ研究 67(5)，581-586.
- 5) 岩本辰一郎・勝野武彦・藤崎健一郎・長谷川秀三・漆崎隆之（2001）鎌倉市におけるケイワタバコの生育・立地環境について（その 2），日本緑化工学会誌 27(1)，254-257.

# 根の肥大生長を対象とした建築材料の耐根性評価手法

石原 沙織 (東京工業大学建築物理研究センター博士課程3年)

## 要旨

建築物に接して植栽がなされる場合、植栽域周辺材料は根に対する抵抗性(耐根性)を有する必要がある。本研究は、耐根性を事前に評価する手法として、根の挙動を機械的な力に置換した模擬根を作製し、木本類植物を対象とした耐根性評価手法について検討したものである。

## 1. はじめに

もともと建築物にはその外構に植栽がなされることが多かったが、最近では屋上緑化、壁面緑化、人工地盤上での緑化等の面積が毎年増加している。通常、植物に隣接して縁石、アスファルト舗装やブロック等の歩道、緑化用資材等が設置されるが、これらには、植物の根が外力として作用し、種々の損傷を引き起こすことが懸念される。

写真1は屋上ではないが、一般のアスファルト歩道舗装の例である。根の肥大生長により舗装面が持ち上がり、根に沿って亀裂が発生している。これは歩行等に障害となるだけでなく、美観上においても問題を発生している。特に屋上緑化では、重量軽減のため土壌は植物の生育ぎりぎりの量まで減少させられ、厚さも薄い。そのため植物根の肥大生長は、歩行面や見切り材、防水層や耐根シート等に直接影響を与える。



写真1 アスファルト歩道舗装の持ち上がりの例

一度不具合が発生すると、一般的には補修し使用するが、屋上緑化では、これらの部材を補修する際、植物を傷めたり、防水層や耐根シートを傷つけるなどの事故を招く恐れがある。そのため、これらが植物根に対して安全かどうかを、事前に試験、評価しておく必要がある。その手段としては実際の植物を使用することも可能であるが、試験が大掛かりとなり、さらに結果を得るためには長期間を要する。何よりも結果は植物の生育状況の影響を受けるといった問題点が残る。評価を確実に、しかも簡便に行うためには、根の挙動を模した模擬根を使用すると便利である。

筆者等は、街路樹や緑地、時には屋上緑化でも使用されるソメイヨシノについて、根の挙動を明らかにしている<sup>1)</sup>。本研究はそれらの知見を活用して、緑化にかかわる部位、部材の耐根性評価に利用できる模擬根の開発を目的とする。また模擬根を用いた耐根性評価試験の適用例として、屋上緑化の歩行面及び屋上緑化で使用される見切り材を想定し、模擬根利用の有用性について検討する。

## 2. 根の形状と力学的性質の測定

### 2-1. 対象とした樹木と根の形状

模擬根作製のためには、実際の根の形状と力学的性質の情報が必要である。ここでは、街路樹や時には屋上緑化でも使用頻度の高いソメイヨシノを選定し、その根の形状と力学

的性質について調べた。写真2は今回各種測定に使用した、東京工業大学すずかけ台キャンパス内の樹齢約21年のソメイヨシノの根の部分である。図1にその根系のスケッチとおおよその寸法を示す。これらの中で歩道などの舗装や外構部材、緑化用資材に不具合を生じさせているものは、ほとんどが幹から近い数m程度の範囲にある主となる根部分である。その部分の直径は10cm程度から数十cmであった。

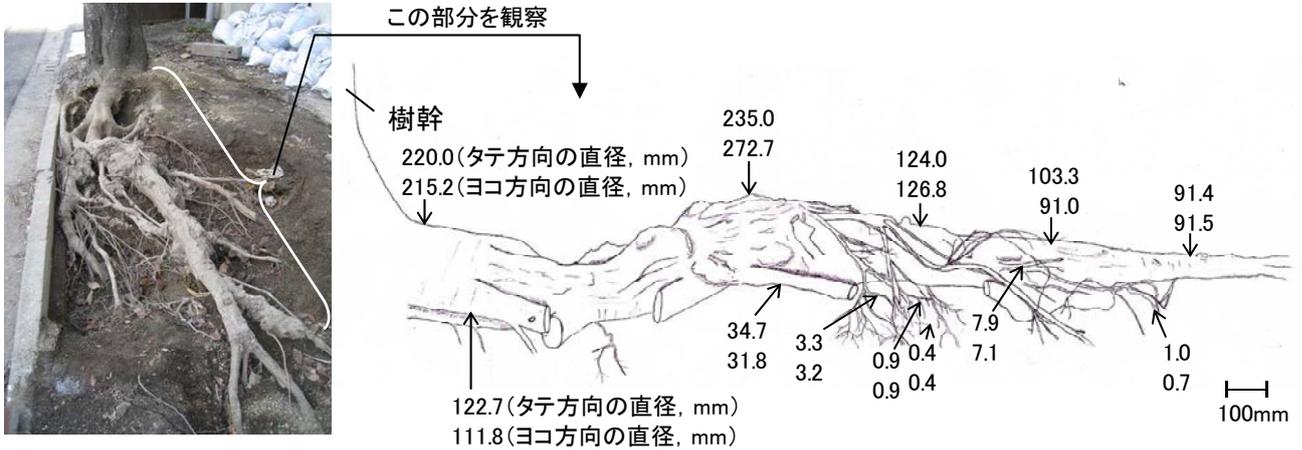


写真2 研究に用いたソメイヨシノの根系  
(樹齢21年、樹幹の胸高周囲138cm)

図1 測定に使用したソメイヨシノの根系の寸法

## 2-2. 根の断面と力学的性質

ソメイヨシノの樹幹から約1.5mの位置における根の断面を写真3に示す。根の断面は基本的に円形もしくは縦長の楕円形である。ただ根は幹や枝と違って、すべての部分にわたってきれいな形状をしているわけではなく、部分的にはいびつになっているところもある。

この根の円形に近い部分を何ヶ所か切り出し、その力学的性質を圧縮試験により測定した。試験体とした根の直径は約10cm、長さは3cmであり、1mm/分の速度で加圧し、荷重と変形の間係を調べた。なお、試験体数は5個とした。測定状況を写真4に、測定結果を図2に示す。圧縮が進行するにつれて荷重は単調に増加している。なお模擬根開発にはそれほど大きな変形のところまでのデータは必要としないため、変位量は2mmまでで測定を打切った。



写真3 力学的性質測定に用いたソメイヨシノの根の断面



写真4 ソメイヨシノの根の断面の圧縮試験状況(1mm/分、20°C)

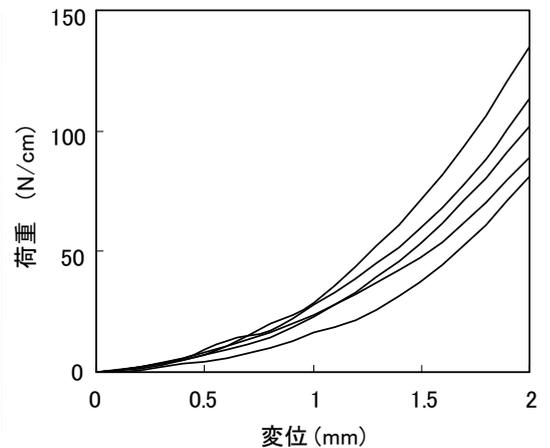


図2 ソメイヨシノの根の圧縮試験結果

### 3. 根の肥大により生じる圧縮力の測定

#### 3-1. 測定方法

緑化域周辺に用いられる部材、資材の耐根性評価には、根が肥大生長する際にどの程度の力を発生するかを明らかにする必要がある。そこで根の肥大力を測定する装置を作製し、ソメイヨシノの根を対象にその肥大力を測定した。肥大力測定装置は根の肥大しようとする力をロードセルにより検出する仕組みを持つものであり、これを写真5に示すように、根の上下から挟み込むように取り付けた。この測定装置の測定部分の長さは2cmである。なお、測定は肥大生長が始まると思われる2009年3月から8月上旬まで行った。



写真5 肥大力測定装置の設置状況

#### 3-2. 測定結果

測定結果を図3に示す。3月はまだ荷重の増加は見られないが、4月に入ると徐々に上昇し、5月の半ばから急速に増大する。ただそれは単調に増加するのではなく、蒸散による周期的な変動を繰り返しながら増加している。なお今回の測定で最大値を観測したのは、2009年7月29日であり、440N/cmの肥大力であった。その後の肥大力は横ばいとなる傾向であった。

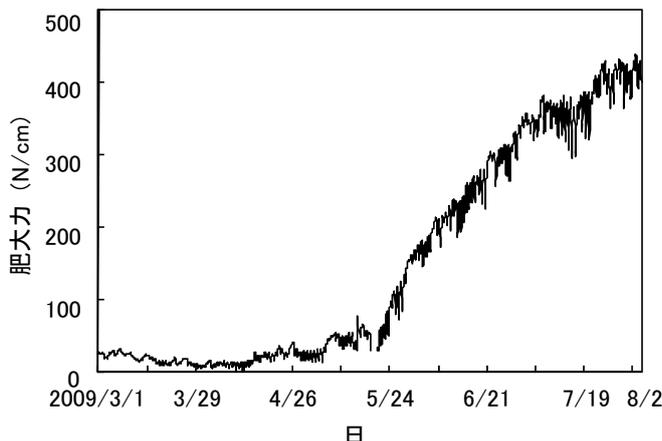


図3 ソメイヨシノの根の肥大力測定結果

### 4. 模擬根の作製

#### 4-1. 模擬根の基本的考え方

実際の根では円周方向に肥大するため、模擬根全体を拡大させて力を作用させることが望ましいが、写真1に見られるように、被害例は主に下から持ち上げられること、もしくは片側に押し広げることによる損傷が多く、単純に片側からの加圧だけでも耐根性の評価はできそうに思える。従って、ここでは機構の簡便さを考慮して、一軸方向に加圧する機構を採用することとした。また試作目標とする根の太さに関しては、大きな損傷を及ぼしている部分の代表として直径10cmを対象とした。また、長さも10cm程度として根を模擬することとした。

#### 4-2. 機構と構成

具体的な機構として図4に示すように、根の断面を模擬した上下二つのアルミニウム製の半円柱を、小型油圧ジャッキ（エナパック社製 RSM-100）を介して押し上げることにより、根の肥大を模擬するものとした。なお、使用した小型油圧ジャッキは最大ストロークが10mmであり、従って模擬根は原理的には最大10mmまで肥大させることが可能である。模擬根内部には荷重測定のロードセル（三菱長崎機工社製 MTC302A型 30000N）が取り付けられており、試験中の模擬根が発生させる圧力を測定できるようにしてある。

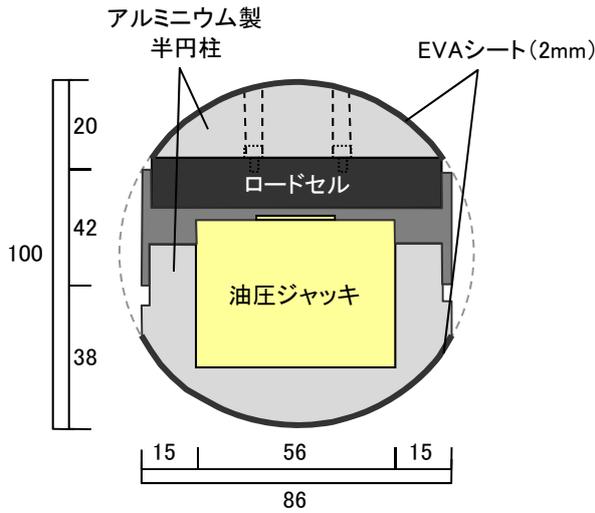


図4 模擬根の断面 単位:mm

表1 被覆材選定のために調べたシート

材料	厚さ (mm)	硬度*	重量 (kg/m <sup>2</sup> )
コルクシート	2	51.5	0.59
ネオプレンゴムシート	3	63.2	3.89
EVAシート (エチレン・ビニル・アセテート)	2	27.2	0.35
	3	28.3	0.51
	5	29.4	0.88
スポンジシート	5	7.4	0.47
補強布入りEPDMゴムシート	1.5	66.1	1.68

\*ゴム・プラスチック硬度計TYPE Aを用いて測定

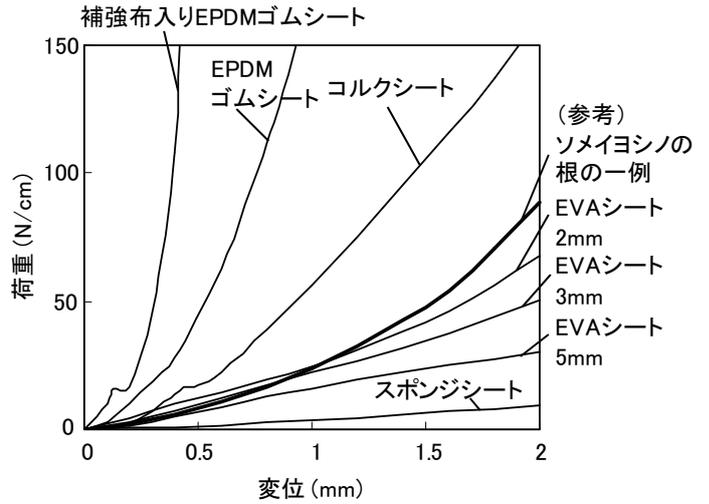


図5 各種被覆材料を巻きつけた時の模擬根の圧縮試験結果 (1mm/分, 20℃)

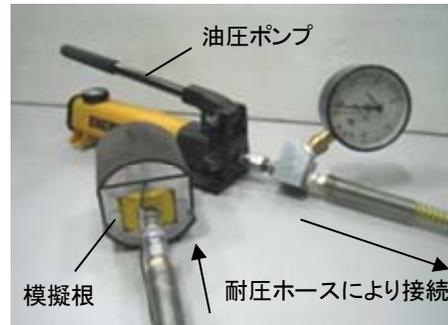


写真6 完成した模擬根と加圧のための油圧ポンプ

さらに実際の根と似た力学的性質とさせるため、アルミニウム材単体だけでは硬すぎるため、表面を弾力性のある材料で被覆することにより、力学的性質を近似させることとした。

この被覆材選定のために、前述の油圧ジャッキを挟み込んだアルミニウム製の円柱の外側に、各種弾力のあるシートを巻きつけ、実際のソメイヨシノの根の圧縮試験と同様に (測定部分長さ 3cm) 1mm/分で圧縮し、荷重と変形との関係を調べた。被覆材決定のために、選定したシート状材料を表 1 に示す。

測定結果を図 5 に示す。変位量の増加に伴い、スポンジシート、EVA シート、コルクシート、EPDM ゴムシート、補強入り EPDM ゴムシートの順に荷重が大きくなる傾向が見られた。この中で、EVA シート (2mm) を巻きつけた場合の圧縮時の挙動が、図 2 で示した実際の根の挙動と近似している。そのため、アルミニウム製の半円柱全体を EVA シート (2mm) で被覆し、模擬根とすることとした。完成した模擬根と加圧システムを写真 6 に示す。

#### 4-3. ソメイヨシノの肥大力の再現の確認

模擬根が、ソメイヨシノの肥大力測定で得られた 440N/cm の荷重を作用させることが可能であるかを確認するため、模擬根をソメイヨシノの根の肥大力を測定した装置に挿入し、模擬根の上下の変形を固定した状態で模擬根を油圧ジャッキ

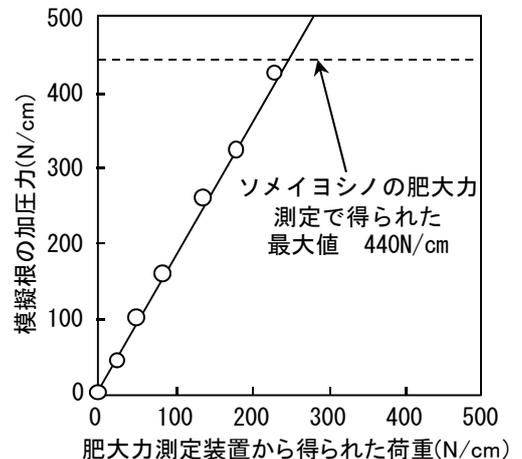


図6 模擬根の加圧力の測定結果

により加圧し、その時の模擬根の荷重と、肥大力測定装置により得られた荷重を測定した。なお模擬根の加圧は、模擬根の荷重が 440N/cm を越した時点で終了させた。

図 6 の測定結果より、模擬根はソメイヨシノの肥大力測定で得られた 440N/cm までの荷重を実際の根と同様に作用させることが可能であると思われる。

## 5. 模擬根を用いた屋上緑化歩行面の耐根性評価の試み

### 5-1. 試験体

作製した模擬根の耐根性評価への有用性を、屋上緑化歩行面を想定したアスファルト舗装を例として検討した。歩道用のアスファルト舗装は、路床の上に十分な厚さの砕石、砂利、スラグ等の路盤材をしっかりと敷き込んだ本格的なものから、スラブの上に路盤材として砂を敷き均し舗装する簡便なものまで範囲が広い。ここでは模擬根を用いた耐根性評価試験方法の有用性を確認する目的で、屋上緑化を想定した図 7 に示す比較的簡便な構成の試験体とした。この中で危険側と考えられる場合として、根が剛性のあるスラブ上で生長し、スラブ方向には生長できず、路盤方向に生長する場合を想定した。構成は路盤として砂を敷き、その上にアスファルト舗装を施したものである。

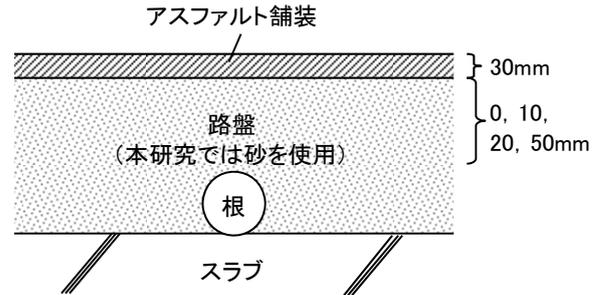


図7 試験に用いたアスファルト舗装の断面

#### 1) 砂層

根の上方にある砂層の厚さは、アスファルト舗装表面のひび割れや持ち上がり等の不具合に影響を及ぼすと推定される。そのため試験体は、模擬根直上の位置から砂層の厚さを 4 段階（0mm, 10mm, 20mm, 50mm）に変えたものを作製した。

なお、本試験で用いた砂は静岡県産岡産砂である。JIS A 1224「砂の最小密度・最大密度試験方法」に準拠し測定した砂の最小密度は 1.50g/cm<sup>3</sup>、最大密度は 1.81g/cm<sup>3</sup> である。

#### 2) アスファルト舗装

実際のアスファルト舗装の損傷は、施工直後の柔軟性がある場合にはあまり見られず、経年劣化していると思われるものが多い。そのため、試験に用いたアスファルト舗装は、横浜市港南区の宅地沿いの補修工事前の歩道から採取した。これを長さ 680 mm、幅 100mm、厚さ 30mm の大きさにコンクリートカッターで切断した。

なお、採取したアスファルト舗装の

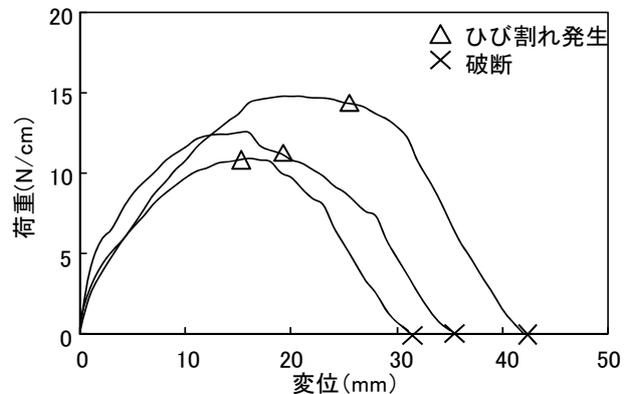


図8 アスファルト舗装の三点曲げ試験結果

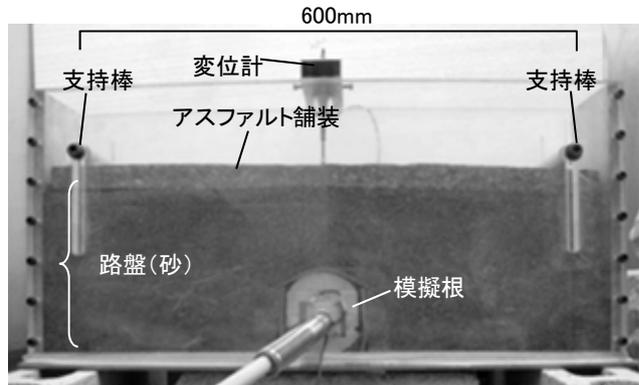


写真9 耐根性評価試験の試験状況

施工年、成分等は記録が残っておらず分からない。そのため、このアスファルトの力学的特性を把握するため、三点曲げ試験を行った。载荷速度は1 mm /分で行った。支点間距離は600 mm であり、その中央部に载荷する。試験体数は3 体であり、20℃一定の室内で試験を行った。試験結果を図8 に示す。

## 5-2. 試験方法

耐根性評価試験方法は、支持点間隔600mm で固定したアスファルト舗装試験体を、砂層を介して模擬根からの肥大による加圧力を作用させるものであり、加圧後の試験体の変形と損傷状況を調べた。

そのための試験装置は、前述の試験体を収納できるように内寸長さ700mm、幅110mm、高さ330mm の容器とし、その底部の中央に模擬根が設置されるようになっている。また模擬根による路盤の加圧により、アスファルト舗装は持ち上げられるが、その時両端部が動かないように、間隔600mm に設置した支持用丸棒で、アスファルト舗装を抑えるようにしている。この支持棒の設置用の孔は縦に長く開けられており、任意の路盤厚さの試験が行うことが可能としてある。

試験の手順は以下のとおりである。まず容器に模擬根を設置する。次いで砂層を所定の厚さまで敷設した。その際、砂を容器に深さ1cm 入れる毎に、容器側面を木づちで十分に打撃し、前述の最大密度となるよう砂層を十分に締め固めた。なお砂層は、含水比が締め固め度に及ぼす影響を排除するため、105℃で24 時間乾燥させた絶乾の砂を用いている。その上にアスファルト舗装試験体を敷設し、支持棒で両端を固定した。次に模擬根のジャッキに油圧ポンプから油を送り込み、砂層、アスファルト舗装を下から加圧した。加圧速度についてであるが、実際の根の肥大力増加速度は図3 に示すように、5月から7月までの3ヶ月間で440N/cm まで上昇しており、平均すると1日あたり5N/cm という極めてゆっくりとした速度である。しかしここでは室内試験として、短時間で結果を得るため、手動であるが毎分5N/cm の加圧速度を目標として加圧した。

試験の状況を写真9 に示すが、目視により、アスファルト舗装面のひび割れの観察を行った。同時にアスファルト舗装中央部の持ち上がり高さを、変位計により測定した。なお、アスファルト舗装にひび割れが発生した時点、もしくは模擬根自体の最大変形量(10mm) に達した時点で試験を終了した。

試験体数は、砂層の各厚さごとにそれぞれ3 体とした。

## 5-3. 試験結果及び考察

図9 に模擬根で加圧した時のアスファルト舗装表面の持ち上がり高さを示す。模擬根への加圧力の上昇に伴い、次第にアスファルト舗装表面が持ち上げられた。模擬根直上の砂層の厚さが0mm、10mm の場合、アスファルト舗装表面にひび割れが発生した。ひび割れ発生時の模擬根の加圧力は、模擬根直上の路盤厚さが0mm の場合は45N/cm 程度であ

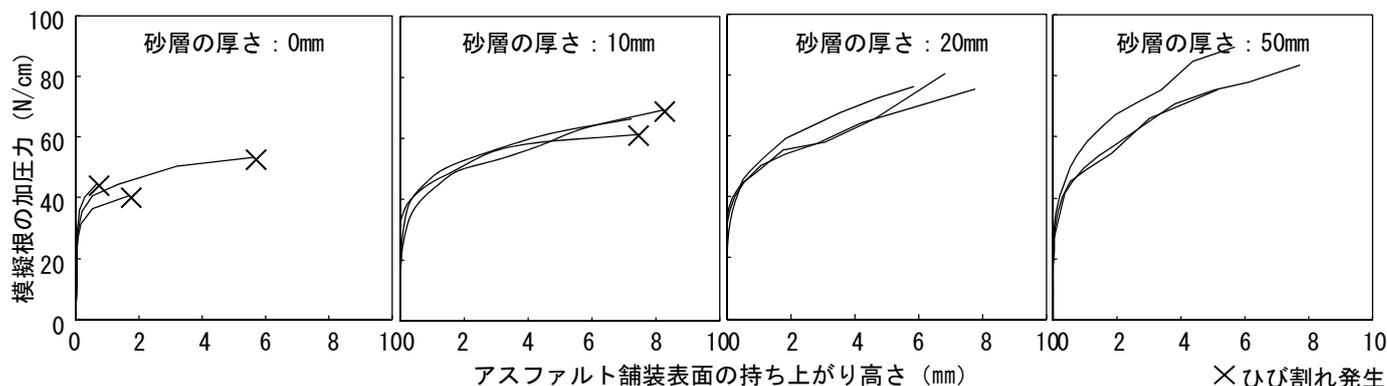


図9 模擬根直上からアスファルト舗装までの砂層の厚さごとのアスファルト舗装表面の持ち上がり高さ

るのに対し、路盤厚さが 10mm の場合は 60N/cm 程度であった。また、路盤が厚くなるに従い加圧力に対する持ち上がり高さが低くなる傾向が見られた。これは砂層が薄い場合は、アスファルト舗装に直接模擬根からの力が作用するに対し、路盤がある場合は路盤が緩衝層として作用し、模擬根からの力を分散させるためと推察される。実際、模擬根の拡大変位量は大きくなっているが、荷重はそれほど上昇していない。いずれにしてもアスファルト舗装の損傷には、アスファルトから根までの距離が重要であると思われる。

試験終了時のアスファルト舗装表面のひび割れ状況の一例を図 10 に示す。ひび割れが発生した位置は、模擬根直上の砂層の厚さに係わらず、模擬根付近であった。これらの損傷形態は、実際の歩道用のアスファルト舗装で見られるものと類似しており、ここでの開発した模擬根は、屋上緑化歩行面の耐根性評価に利用できると思われる。

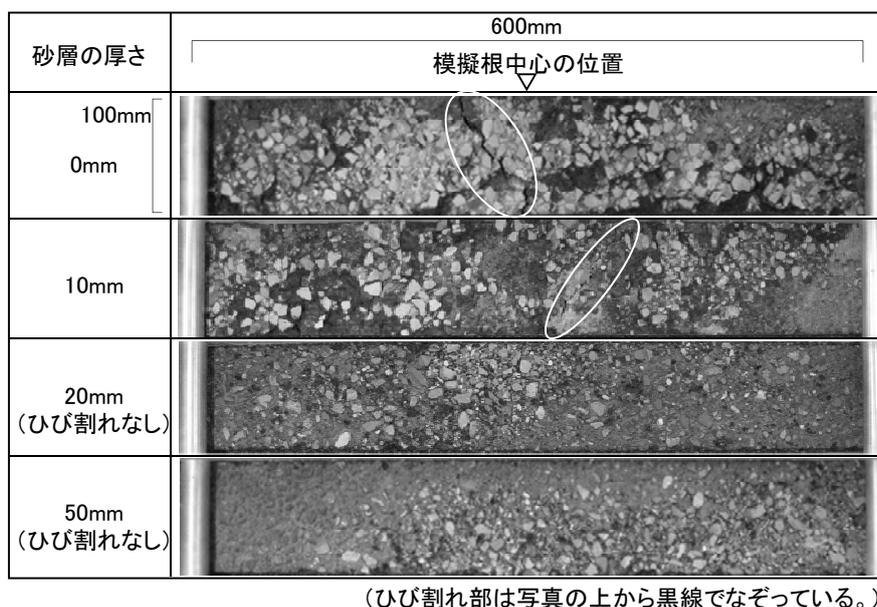


図10 アスファルト舗装表面のひび割れ状態の一例

## 6. 模擬根を用いた屋上緑化見切り部の耐根性評価の試み

### 6-1. 試験体

屋上緑化では見切り材（緑化部分と非緑化部分を分離するために、緑化部分の端部に設置される部材）としてブロックや縁石等を並べて設置するが、その接続部分の隙間に根が入り込み肥大し、それらを移動させたり損傷させることがある。そこで見切り材の損傷状況に対する適用を検討する。

そのため図 11 に示すようなコンクリートブロックを用いた模擬的な見切り部位を作製した。実際の損傷では、細い根が対象になると思われるが、超小型の油圧ジャッキが市販されておらず、現状では小型模擬根の作製が難しいため、今回試作した太径の模擬根で代用した。

試験体はコンクリートブロックで構成される見切り部位の一部を取り出したものとした。コンクリートブロックの隙間に侵入した根は、肥大により両側に押し広げようとするため両側にブロックを必要とするが、ここでは試験体長さを短くするため、片側を固定した試験体とした。なお、ここで使用したコンクリートブロックは横 390mm、縦 100mm、高さ 190mm の重量 15.4kg の角型のものである。

根の肥大による影響は、ブロックの隙間に充填される材料及び並べられるコンクリート

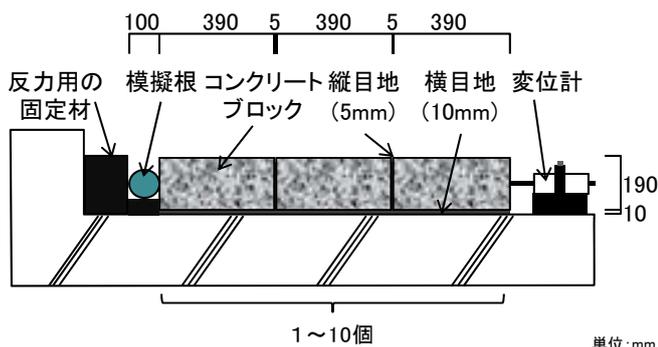


表2 見切り部分の耐根性評価に用いた試験体の種類

横目地 (10mm)	縦目地 (5mm)	コンクリートブロックの数
セメントモルタル※1	セメントモルタル※1	1個
黒土※2	黒土※2	1~10個
空目地	空目地	1~10個

※1 水セメント比50%, セメント砂比1:3  
 セメント:普通ポルトランドセメント 細骨材:静岡県沢丘産砂  
 ※2 粒径2.5mm以下

ブロックの数に依存すると思われる。そのため表 2 に示す試験体を用意した。すなわち、目地についてはセメントモルタル、黒土、それと比較のための何も充填しないもの（空目地）の 3 種類とした。セメントモルタル、黒土による目地詰め目地幅については、縦目地 5 mm, 横目地 10 mm とした。空目地の場合は突き付けとした。敷き並べたブロック数は 1 個から 10 個までとした。試験体数は各々 2 体ずつである。

## 6-2. 試験方法

まずコンクリートブロックと反力用の固定材との間に、模擬根を挟み込んだ。高さ方向の位置はコンクリートブロックの中央部 50 mm とした。この状態から模擬根のジャッキに油圧ポンプから油を送り込み、敷き並べたコンクリートブロック試験体に圧力を作用させた。模擬根とは反対側のコンクリートブロックの端部には変位計を取り付け、模擬根により加圧されることによる、コンクリートブロック試験体の変位量を測定した。なお、加圧時に加圧軸方向以外にコンクリートブロックが移動しないようにするため、両側面にアングルによりガイドを設けている。加圧速度は手動であるため正確ではないが、5. 模擬根を用いた屋上緑化歩行面の耐根性評価の試みと同様、毎分 5N/cm 程度である。なお、加圧はソメイヨシノの肥大方の実測値の 440N/cm を参考とし、それより少し大きい 450N/cm に達した時点、もしくは模擬根自体の最大変形量 (10 mm) に達した時点まで行った。

## 6-3. 試験結果

試験結果として、コンクリートブロック端部の最大変位量と、それを観測した際の模擬根の加圧力を整理したものを図 12 に示す。セメントモルタルで縦目地、横目地を固定した試験体では、コンクリートブロック 1 個の場合でも移動はなかった。黒土を充填したものは、コンクリートブロック数を増やすに従って、試験体端部での変位量は少なくなり、9 個からは変位が見られなくなった。これは目地に詰められた黒土が、模擬根の肥大による変形を吸収したためと推定される。目地に何も充填しない空目地の場合は、コンクリートブロックの端部は模擬根の肥大によって動かされ、コンクリートブロックを 10 個敷き並べた場合でも移動を止めることはできなかった。

## 6-4. 考察

根の肥大により、見切り部分は動かされるが、その影響は目地に用いる材料により異なることが明らかになった。セメントモルタルのように十分な接着強度のある材料を使用した場合は、かなり安全と思われるが、空目地のようにブロックが接触しているだけのよう場合は、移動は避けられない。ただ黒土のように、それ程強い接着強度の期待できない材料でも緩衝効果により全体として見切り部分の形状保持がなされていた。

ここでは、模擬根の実務での簡便な耐根性評価の有用性のみを目的として検討したが、この特性を生かした見切り材部分の構法状の工夫は出来そうに思われる。

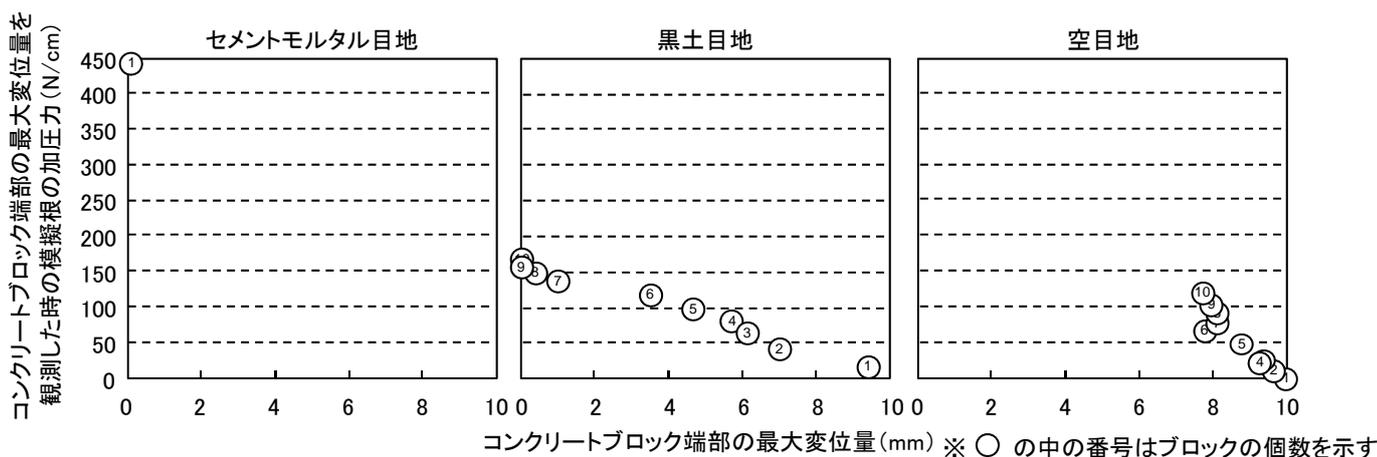


図12 コンクリートブロック端部の最大変位量とその時の模擬根の加圧力

## 7. 結論

模擬根に関する本研究の結論は以下の通りである。

- 1) 実際の根の観察と力学的性質の測定をもとにして、内部に油圧ジャッキを内蔵し、実際の根と似た形状、力学的性質をもたせた模擬根を開発した。
- 2) この模擬根は上下の変形を固定した状態で、実測で得られた肥大力 440N/cm の荷重を作用させることが可能であることを確認した。
- 3) 作製した模擬根を用いて、屋上緑化歩行面及び見切り部分の耐根性試験を行い、模擬根の耐根性評価試験への適用の有用性を示した。

### 参考文献

- 1) 石原沙織、田中享二：木本類植物根としてのサクラの根の肥大力と肥大量の測定：日本建築学会構造系論文集，第 640 号，pp.1013-1018，2009.6
- 2) M.G.HUCK, BETTY KLEPPER, H.M.TAYLOR：Diurnal Variations in Root Diameter：Plant Physiology，45，pp.529-530，1970
- 3) Michel Genard, Svetlana Fishman, Gilles Vercambre, Jean-Gerard Huguet, Claude Bussi, Jacques Besset and Robert Habib：A Biophysical Analysis of Stem and Root Diameter Variations in Woody Plants：Plant Physiology，Vol.126，pp.188-202，2001
- 4) 大川秀雄、栗原翔真：植物による歩道舗装の破壊に関する検討：舗装，42-7，pp.21-24，2007
- 5) 岩田彰隆、木田幸男、甲野毅、荻住昇：ケヤキ街路樹の根系生長が歩道に与える影響：ランドスケープ研究，第 59 号，pp.49-52，1996
- 6) 松江正彦、飯塚康雄：樹木の根上り対策に関する調査：国土交通省国土技術政策総合研究所緑化生態研究室報告書，第 21 集，2006
- 7) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成 16 年版，公共建築協会，2004
- 8) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：建築工事管理指針 平成 19 年版（下巻），公共建築協会，2007
- 9) 桜井盛男：わかりやすい道路と舗装の設計，現代理工学出版，1997
- 10) 屋上開発研究会：屋上緑化設計・施工ハンドブック，2007
- 11) The National Roofing Contractors Association：The NRCA Vegetative Roof Systems Manual Second Edition，2009
- 12) 樹木根系図説：荻住昇，誠文堂新光社，1991
- 13) 根の事典：根の事典編集委員会編，朝倉書店，2004

# グランドカバープランツを利用したファイトレメディエーション

浅井 俊光 (東京農業大学 地域環境科学部 造園科学科・生物環境調節室 兼務)

## 要旨

本研究ではグランドカバープランツによるカドミウム (Cd) の吸収・除去を行うこと目的とし、様々なプレテストの結果などからアジュガ、キショウブ、ハナショウブ、ペレニアルライグラス、トールフェスクを供試植物に選出し、その Cd 吸収能・耐性の度合いについて明らかにした。

## 1. 研究の背景及び目的

ファイトレメディエーションでは植物の生育に従って徐々に汚染物質を吸収させるという性質上、長期間を要する場合が多い。この問題点を改善し、少しでも効率を高めるために Hyper-accumulator と呼ばれる Cd 吸収能に優れた樹種や草種が研究されるようになった。しかし、効率・性能を追求するあまり、目下、研究されている Hyper-accumulator の大半が作物や一般植物であり、実際に現場に導入されても劣悪な環境下では生育に支障をきたす恐れや、ランニングコストやメンテナンス面に問題を抱えているとも言える<sup>1)2)3)4)11)</sup>。

そこで本研究では供給体制が整っており、修景能力も高く生育特性が把握され、栽培管理技術も確立されているグランドカバープランツによって Cd を吸収・除去することを目的とした。供試植物の選定にあたっては、様々なプレテストの結果をもとに、数多くのグランドカバープランツの種類の中から、アジュガ (*Ajuga reptans* L.)、キショウブ (*Iris pseudoacorus* L.)、ハナショウブ (*Iris ensata* Thunb.)、ペレニアルライグラス (*Lolium perenne* L.)、トールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb) の 4 種類を選定した。

本研究ではこれらの供試植物の種類、形状、特性などの違いによる Cd 吸収能及び Cd 耐性を明らかにし、さらには、既に Hyper-accumulator と認められている植物との比較実験や植物体の大小が吸収能に及ぼす影響、植物体の地上 (茎葉) 部と地下 (根) 部との Cd 重量比 (茎葉部/根部) などがどのように変化していくかなど、Cd 吸収に係わる事象の一端を探ることも併せて意図し、ファイトレメディエーション技術の発展の一助となることを目的とした。

## 2. 実験方法

供試植物の Cd 吸収能を最も正確かつ迅速に調べることのできる水耕条件下での Cd 吸収実験を行った。実験期間は先行研究<sup>3)4)</sup>を参考に 7 日間とし、実験場所は風雨による影響を受けないように屋外のガラス室にて行った。なお、アジュガの実験期間は 2004 年 10 月 10 日～16 日 (平均気温  $25 \pm 7.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $57.8 \pm 33.5\%$ ) まで<sup>5)</sup>、キショウブは 2005 年 6 月 27 日～7 月 4 日 (平均気温  $24.2^{\circ}\text{C} \pm 6.6^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $57.5 \pm 20.8\%$ ) まで、ハナショウブは 2005 年 8 月 27 日～9 月 3 日 (平均気温  $29.1 \pm 4.4^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $62.3 \pm 15.9\%$ ) まで<sup>6)</sup>、ペレニアルライグラスは 2005 年 4 月 1 日～7 日 ( $18.0 \pm 7.1^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $57.4 \pm 16.8\%$ ) まで、トールフェスクは 2005 年 6 月 24 日～7 月 1 日 (平均気温  $28.6 \pm 4.7^{\circ}\text{C}$ 、湿度  $71.3 \pm 15.8\%$ ) までとした<sup>7)</sup>。

なお、アジュガの実験時は既に Hyper-accumulator として知られているミゾソバとの比較実験が行えるよう、アジュガについてはポット栽培された苗から生育が同程度のものを、水耕栽培を始める前に水道水で土壌をよく落とし供試した。ミゾソバは東京都世田谷区が多摩川河川敷で採取し、生育が同程度のものを選び供試した。アジュガ、ミゾソバ共に発泡スチロール (150×150×20mm) に正方形の穴 (各根部の大きさに合わせたもの) を空けたものに直接固定し、これをラフトの代用として、ポリプロピレン製の容器 (200×200×100mm) を利用した湛液型の水耕栽培を行った。また、アジュガ、ミゾソバ共に 1 株では分析に必要な乾燥重量に満たないことがあるため、1 ポット当たりの植栽本数をアジュガについては 5 株、ミゾソバについては 7 株に

設定し水耕液中で7日間の養生を行った後、7日間のCd処理を行った。なお、Cd処理時の濃度は、我が国で実際に健康被害が認められた水田の土壤中Cd濃度が1.12~6.38mg/kg程度<sup>8)</sup>であること、さらには、水耕条件下でCd耐性に劣る植物が11.24mg/L前後のCd処理において枯死や生育被害を呈する<sup>9)</sup>ことやホテイアオイが100mg/L以上のCd処理において急性毒性による被害を受ける<sup>10)</sup>という報告を参考に、1mg/L区、10mg/L区、100mg/L区の3段階に設定し、設定濃度になるように塩化カドミウム(CdCl<sub>2</sub>)を純水に添加して使用し、それぞれ3反復実験を行った。

キショウブ、ハナショウブの実験時は共にポット栽培されたものを購入し、生育が同程度のものを供試植物に選出した。その際、キショウブとハナショウブでは開花時期が異なるため、生育周期から見て同一条件とするため、それぞれ花後の分蘗期に入った時点で実験を開始した。その他、水耕液や栽培方法、Cd処理方法などはアジュガの実験時と同様とした。なお、キショウブ、ハナショウブ共に植物体が大きいため、1株ずつ発泡スチロールに小さな穴を開けたものに固定する方法を採用した。

ペレニアルライグラス、トールフェスクの実験時は植物の形態が全く異なるため、これまでの実験で使用したのと同じ発泡スチロールに正方形の穴(110×110mm)を開け寒冷紗を張ったものに1200粒の種子を播種し、Cdの定量が可能となる生体重量まで生育させるため、7日ではなく30日間の養生期間を設けた後、各成立本数を1000本として同様の実験を行った。

各供試植物からCd抽出する方法については、まず、植物体を茎葉部と根部に切り離し、植物体に直接付着した水溶液中のCdを完全に除去するため中性洗剤を用いて洗浄した後、超純水で十分に濯ぎを行った。その後、ドライオーブン(105℃, 48時間)で試料を完全乾燥させ、粉碎した。こうして得られた乾燥試料から1gを電子天秤で計量し、これを硫酸及び過酸化水素水にて加熱分解し、原子吸光光度計(島津製作所製AA-680)にて茎葉及び根部のCdの定量を行った。

Cd吸収能の評価に関しては、植物体中Cd濃度(mg/kg)を基に単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量(mg/gDW)を算出し、ポットあたり植物体中Cd重量(mg/pot)、単位乾燥重量あたりのCd吸収率(%)とポットあたりのCd吸収率(%)<sup>9)</sup>を表-1の3つの式から求め評価した。なお、キショウブ、ハナショウブについてはポットあたりではなく1株あたりで算出した。また、茎葉部のCd重量を根部のCd重量で除すことによってCd重量比(茎葉部/根部)を求め、体中に吸収されたCdが根部から茎葉部へどの程度移行するかについても明らかにした。

Cd耐性については、肉眼による茎葉及び根部の観察、乾燥重量の測定を行うと共に、Cdによる供試植物への被害を細胞レベルで見る一指標として電解質溶出率(%)を求めた。Cd処理する直前とCd処理をしてから7日後(実験終了時)の計2回、任意に選択した茎葉部から直径5mmのパンチで3枚のリーフディスク(リーフディスクが採取できないトールフェスク、ペレニアルライグラスは0.2gになるように切片)を採取し、100mlの蓋付きバイアル瓶に入れた後、超純水を30ml加え暗室10℃下で24時間静置後、25℃下で30分間の振盪により細胞内の電解質を水中に拡散させた。この水溶液の電気伝導度をECメーター(DKK・TOA製CM-60G)で測定し、電解質溶出量(T<sub>1</sub>)とした。その後、オイルバスで15分間の煮沸を行い、再度電気伝導度を測定し、この値を(T<sub>2</sub>)とした。このT<sub>1</sub>/T<sub>2</sub>×100の値を電解質溶出率とした。なお、この値が大きいほど細胞が被害を受けている可能性が高いことを示す<sup>12)13)</sup>。

### 3. 実験結果及び考察

#### (1) アジュガ、ミゾソバについて

アジュガ、ミゾソバの植物体中Cd濃度を定量した結果、アジュガの1mg/L区で茎葉部10.3mg/kg、根部105.0mg/kg、10mg/L区で茎葉部30.0mg/kg、根部339.2mg/kg、100mg/L区で茎葉部289.5mg/kg、根部3607.7mg/kgのCdが検出された。一方、ミゾソバでは1mg/L区で茎葉部73.8mg/kg、根部

表一 植物体中 Cd 重量及び Cd 吸収率を求める算定式

ポットあたりの植物体中Cd重量(mg/pot)	=	単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量(mg/gDW)	×	ポットあたりの乾燥重量(gDW/pot)
Cd吸収率(%)	=	単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量の平均値(mg/gDW)	÷	実験区的全Cd重量(mg) × 100
ポットあたりのCd吸収率(%)	=	ポットあたりの植物体中Cd重量の総重量(mg/pot)	÷	実験区的全Cd重量(mg) × 100

注) キショウブ、ハナシヨウブに関してはポットあたりではなく1株あたりにて算出

表二 アジュガ、ミゾソバの植物体中の Cd 重量及び乾燥重量、吸収率

供試植物名	実験区	全Cd重量(mg) (入替えなし)	植物体中のCd濃度(mg/kg)			ポットあたりの植物体中Cd重量(mg/pot)			ポットあたりの乾燥重量(gDW/pot)			単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量(mg/gDW)			単位乾燥重量あたりのCd吸収率(%)	ポットあたりのCd吸収率(%)	
			茎葉部	根部	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部	根部	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部	根部	平均値*	茎葉部			根部
アジュガ	1mg/L区	3.00	10.3	105.0	0.26	0.06	0.20	0.30	8.24	6.30	1.94	0.03	0.01	0.11	0.09	1.00	8.67
	10mg/L区	30.00	30.0	339.2	0.76	0.18	0.58	0.31	7.75	6.04	1.71	0.10	0.03	0.34	0.09	0.33	2.53
	100mg/L区	300.00	289.5	3607.7	7.50	1.80	5.70	0.32	7.80	6.22	1.58	0.96	0.29	3.61	0.08	0.32	2.50
ミゾソバ	1mg/L区	3.00	73.8	229.9	0.53	0.37	0.16	2.31	5.71	5.01	0.70	0.09	0.07	0.23	0.30	3.00	17.67
	10mg/L区	30.00	100.1	426.5	0.86	0.55	0.31	1.77	6.27	5.54	0.73	0.14	0.10	0.43	0.23	0.47	2.87
	100mg/L区	300.00	641.3	2949.3	4.74	3.12	1.62	1.93	5.41	4.86	0.55	0.88	0.64	2.95	0.22	0.29	1.58

注) 数値は3反復実験による平均値

\* 茎葉部と根部を合わせ算出した単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量 = ポットあたりの植物体中Cd総重量(mg/pot)/ポットあたりの総乾燥重量(gDW/pot)

表三 キショウブ、ハナシヨウブの植物体中の Cd 重量及び乾燥重量、吸収率

供試植物名	実験区	全Cd重量(mg) (入替えなし)	植物体中のCd濃度(mg/kg)			1株あたりの植物体中Cd重量(mg/株)			1株あたりの乾燥重量(gDW/株)			単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量(mg/gDW)			単位乾燥重量あたりのCd吸収率(%)	1株あたりのCd吸収率(%)	
			茎葉部	根部	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部	根部	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部	根部	平均値*	茎葉部			根部
キショウブ	1mg/L区	3.00	3.1	90.2	0.847	0.015	0.832	0.02	14.09	4.85	9.24	0.060	0.003	0.090	0.03	2.00	28.23
	10mg/L区	30.00	111.5	729.5	5.976	0.421	5.555	0.08	11.37	3.76	7.61	0.526	0.112	0.730	0.15	1.75	19.92
	100mg/L区	300.00	493.8	2941.0	18.745	2.040	16.705	0.12	9.81	4.13	5.68	1.911	0.494	2.941	0.17	0.64	6.25
ハナシヨウブ	1mg/L区	3.00	6.2	301.2	1.482	0.040	1.442	0.03	11.41	6.62	4.79	0.130	0.006	0.301	0.02	4.33	49.40
	10mg/L区	30.00	8.7	866.9	4.638	0.043	4.595	0.01	10.08	4.78	5.30	0.460	0.009	0.867	0.01	1.53	15.46
	100mg/L区	300.00	181.3	2946.3	15.705	1.093	14.612	0.08	11.00	6.04	4.96	1.428	0.181	2.946	0.06	0.48	5.24

注) 数値は3反復実験による平均値

\* 茎葉部と根部を合わせ算出した単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量 = 1株あたりの植物体中Cd総重量(mg/株)/1株あたりの総乾燥重量(gDW/株)

表四 ペレニアルライグラス、トールフェスクの植物体中の Cd 重量及び乾燥重量、吸収率

供試植物名	実験区	全Cd重量(mg) (入替えなし)	植物体中のCd濃度(mg/kg)			ポットあたりの植物体中Cd重量(mg/pot)			ポットあたりの乾燥重量(gDW/pot)			単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量(mg/gDW)			単位乾燥重量あたりのCd吸収率(%)	ポットあたりのCd吸収率(%)	
			茎葉部	根部	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部*	根部*	Cd重量比 (茎葉部/根部)	総重量	茎葉部*	根部*	平均値**	茎葉部			根部
ペレニアルライグラス	1mg/L区	3.00	127.1	673.2	0.76	0.36	0.40	0.90	3.39	2.80 a	0.59 a	0.22	0.13	0.67	0.19	7.33	25.33
	10mg/L区	30.00	985.5	4762.7	4.31	2.14	2.17	0.99	2.63	2.17 a	0.46 a	1.64	0.99	4.76	0.21	5.47	14.37
	100mg/L区	300.00	2766.3	8939.3	10.64	5.09	5.55	0.92	2.46	1.84 b	0.62 a	4.33	2.77	8.94	0.31	1.44	3.55
トールフェスク	1mg/L区	3.00	60.8	736.3	0.70	0.30	0.40	0.75	5.51	4.97 a	0.54 a	0.13	0.06	0.74	0.08	4.33	23.33
	10mg/L区	30.00	517.0	3067.3	3.42	2.20	1.22	1.80	4.66	4.26 a	0.40 a	0.73	0.52	3.07	0.17	2.43	11.40
	100mg/L区	300.00	3451.3	12088.0	17.45	12.06	5.39	2.24	3.94	3.49 a	0.41 a	4.43	3.45	12.09	0.29	1.48	5.82

注) 数値は3反復実験による平均値

\* 異なるアルファベット間は5%水準で有意 (Tukey)

\*\* 茎葉部と根部を合わせ算出した単位乾燥重量あたりの植物体中Cd重量 = ポットあたりの植物体中Cd総重量(mg/pot)/ポットあたりの総乾燥重量(gDW/pot)

表五 アジュガ、ミゾソバの Cd 処理前後の電解質溶出率(%)

実験区	アジュガ		ミゾソバ	
	Cd処理前	Cd処理後	Cd処理前	Cd処理後
1mg/L区	12.31	18.21	13.57	24.76
10mg/L区	11.51	11.37	14.15	18.44
100mg/L区	10.38	17.83	10.04	18.82

注) 数値は3反復実験による平均値

表六 キショウブ、ハナシヨウブの Cd 処理前後の電解質溶出率(%)

実験区	キショウブ		ハナシヨウブ	
	Cd処理前	Cd処理後	Cd処理前	Cd処理後
1mg/L区	12.65 a	11.18 a	11.18 a	12.17 a
10mg/L区	15.00 a	10.20 a	10.20 a	11.47 a
100mg/L区	16.01 a	10.31 a	10.31 a	22.24 b

注1) 数値は3反復実験による平均値

注2) 異なるアルファベット間は5%水準で有意(Tukey)

表七 ペレニアルライグラス、トールフェスクの Cd 処理前後の電解質溶出率(%)

実験区	ペレニアルライグラス		トールフェスク	
	Cd処理前	Cd処理後	Cd処理前	Cd処理後
1mg/L区	2.28 a	5.86 a	5.70 a	3.24 a
10mg/L区	2.87 a	11.10 a	6.24 a	5.65 a
100mg/L区	3.60 a	32.20 b	4.76 a	11.18 b

注1) 数値は3反復実験による平均値

注2) 異なるアルファベット間は5%水準で有意(Tukey)

229.9 mg/kg、10mg/L 区で茎葉部 100.1 mg/kg、根部 426.5 mg/kg、100mg/L 区で茎葉部 641.3 mg/kg、根部 2949.3mg/kg となった。実験区の Cd 処理濃度が高まるにつれて、アジュガ、ミゾソバ共に植物体中 Cd 濃度は顕著に増加し、特に 100mg/L 区の根部で極めて高濃度の Cd が検出された。ま

た、アジュガは 100mg/L 区の根部を除く全ての実験区で、ミゾソバよりも植物体中 Cd 濃度は低い数値を示す結果となり、特に茎葉部ではミゾソバの 1/2~1/7 程度の Cd 濃度となった。しかし、根部では実験区の Cd 処理濃度が高まるにつれてその差はなくなり、100mg/L 区ではミゾソバの Cd 濃度を上回る結果となった。さらに、単位乾燥重量あたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）に着目したところ、アジュガ、ミゾソバ共に根部から吸収した Cd は茎葉部へさほど移行しないことが明らかとなった。しかし、ミゾソバは茎葉部の乾燥重量が根部に比べて著しく大きかったため、ポットあたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）では茎葉部に多くの Cd を集積する結果となった。

単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率についてはアジュガの 1mg/L 区で 1.00%、10mg/L 区で 0.33%、100mg/L 区で 0.32%であった。ミゾソバでは 1mg/L 区で 3.00%、10mg/L 区で 0.47%、100mg/L 区で 0.29%であり、100mg/L 区ではアジュガがミゾソバを僅かに上回り、高濃度条件下ではミゾソバより Cd 吸収能に優れることが明らかとなった（表-2）。

Cd 耐性に関しては、アジュガの 100mg/L 区で供試した 15 株全てに土耕根から水耕根への切り替えの遅れが認められた以外に、アジュガ、ミゾソバ共に実験終了時の乾燥重量は全ての実験区で有意な差は認められなかった。さらに、肉眼では生育被害が確認できなかったこと、電解質溶出率（表 - 5）においても実験終了時に各実験区間で優位さが認められなかった。このことから、アジュガは Hyper-accumulator であるミゾソバと比較しても、同等か場合によってはそれ以上の Cd 吸収能や Cd 耐性を有しているものと推測できる。

## (2) キショウブ、ハナショウブについて

キショウブ、ハナショウブの植物体中 Cd 濃度を定量した結果、キショウブの 1mg/L 区で茎葉部 3.1mg/kg、根部 90.2mg/kg、10mg/L 区で茎葉部 111.5mg/kg、根部 729.5mg/kg、100mg/L 区で茎葉部 493.8mg/kg、根部 2941.0mg/kg の Cd が検出された。一方、ハナショウブでは 1mg/L 区で茎葉部 6.2mg/kg、根部 301.2mg/kg、10mg/L 区で茎葉部 8.7mg/kg、根部 866.9mg/kg、100mg/L 区で茎葉部 181.3mg/kg、根部 2946.3mg/kg となった。実験区の Cd 処理濃度が高まるにつれて、キショウブ、ハナショウブ共に植物体中 Cd 濃度は顕著に増加し、特に根部にてその傾向が顕著であった。また、単位乾燥重量及び 1 株あたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）に着目すると、キショウブ、ハナショウブ共に Cd 重量比は極めて低い値を示し、根部から吸収した Cd は茎葉部にほとんど移行せず、根部に集積されることが明らかとなった。しかしながら、茎葉部ではキショウブがハナショウブよりも全ての実験区において常に高い植物体中 Cd 濃度となり、根部ではその逆となった。このことから、たとえ近縁種であっても、Cd 吸収メカニズムに大きな差があることも示唆された。

単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率についてはキショウブの 1mg/L 区で 2.00%、10mg/L 区で 1.75%、100mg/L 区で 0.64%であった。ハナショウブでは 1mg/L 区で 4.33%、10mg/L 区で 1.53%、100mg/L 区で 0.48%であり、アジュガ、ミゾソバと比較して全ての実験区で高い結果となった。さらに、1 株あたりの Cd 吸収率に換算すると植物体が大きく、その乾燥重量が大であるキショウブ、ハナショウブは全実験区でアジュガやミゾソバの Cd 吸収率を数倍上回る結果となった（表 - 3）。

Cd 耐性に関しては、肉眼による茎葉部及び根部の観察を行った結果、キショウブは全ての実験区で肉眼で確認できる生育被害は認められなかったが、ハナショウブでは 100mg/L 区の供試した個体全てに茎葉部の黄化現象や茎葉部の一部に枯損あるいは萎れが見られ、電解質溶出率（表 - 6）においても高い値を示し、生育被害が確認された。このことから、Cd 耐性についても近縁種間で差があることが確認され、ハナショウブよりもキショウブが優れていることが明らかとなった。

## (3) ペレニアルライグラス、トールフェスクについて

ペレニアルライグラス、トールフェスクの植物体中 Cd 濃度を定量した結果、ペレニアルライグラスの 1mg/L 区で茎葉部 127.1mg/kg、根部 673.2mg/kg、10mg/L 区で茎葉部 985.5mg/kg、根部 4762.7mg/kg、100mg/L 区で茎葉部 2766.3mg/kg、根部 8939.3mg/kg の Cd が検出された。一方、トールフェスクでは 1mg/L 区で茎葉部 60.8mg/kg、根部 736.3mg/kg、10mg/L 区で茎葉部 517.0mg/kg、根部 3067.3mg/kg、100mg/L 区で茎葉部 3451.3mg/kg、根部 12088.0mg/kg となった。ペレニアル

ライグラス、トールフェスク共に実験区の Cd 処理濃度が高まるにつれて、植物体中 Cd 濃度も増加し、本実験の全ての供試植物の中で最も高い植物体中 Cd 濃度となった。また、単位乾燥重量あたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）に着目すると、ペレニアルライグラスでは Cd 処理濃度が高まるにつれて、根部から Cd が茎葉部に移行する割合が高まっており、ポットあたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）においても、実験区の Cd 処理濃度に関係なく 0.90~0.99 と吸収した Cd の約 1/2 が茎葉部に移行していることが明らかとなった。一方、トールフェスクでは単位乾燥重量あたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）はペレニアルライグラスよりも低い値となったが、ポットあたりの Cd 重量比（茎葉部/根部）では茎葉部の乾燥重量が大きかったため非常に高い値となった。

単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率についてはペレニアルライグラスの 1mg/L 区で 7.33%、10mg/L 区で 5.47%、100mg/L 区で 1.44%であった。トールフェスクでは 1mg/L 区で 4.33%、10mg/L 区で 2.43%、100mg/L 区で 1.48%であり、植物体中 Cd 濃度の結果と同様に本研究の供試植物の中で高い数値となった。しかしながら、1ポットあたりの Cd 吸収率に換算し比較すると、トールフェスク、ペレニアルライグラス共に植物体が小さかったため、乾燥重量の大きいキショウブ、ハナショウブの 1mg/L 区、10mg/L 区の Cd 吸収率に劣る結果となった（表 - 4）。

Cd 耐性については、ペレニアルライグラスの実験終了時の乾燥重量は茎葉部の 100mg/L 区で低下し、肉眼による観察を行った結果では 10mg/L 区で若干の枯損や萎れが認められ、100mg/L 区で顕著な生育被害が確認された。さらには、電解質溶出率を測定した結果では 100mg/L 区で Cd 処理後に有意な差が認められたことから、概ね 10mg/L 前後の Cd 処理濃度で生育被害が現れ始め 100mg/L 前後の Cd 処理濃度で顕著な生育被害となって現れるものと推察される。一方、トールフェスクでは実験終了時の乾燥重量は根部の 10mg/L 区と 100mg/L 区で若干低下したが、茎葉部では全ての実験区で重量の低下は認められなかった。しかし、肉眼による観察を行った結果では茎葉部の 10mg/L 区、100mg/L 区で枯損や萎れが確認され、電解質溶出率（表 - 7）を測定した結果でも 100mg/L 区で有意な差が認められた。このことから、トールフェスクもペレニアルライグラスと同様に 10mg/L 区で生育被害が現れ始め、100mg/L 区で顕著となるものと推測された。

#### 4. 総合考察

現在、アブラナ科植物は最も高い Cd 吸収能を有する Hyper-accumulator の 1 つとして認知されている。王らの<sup>14)</sup>研究では、コブタカナや黄カラシナなど様々なアブラナ科植物を水耕条件下にて 18 日間の Cd 処理を行った結果、ポットあたりの Cd 吸収率は 21.4~49.8% (Cd 処理濃度：1.12mg/L) であった。これらの数値を基に、アブラナ科植物の単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率を算出すると 10.32~26.93%程度となる。実験期間が異なり単純比較は出来ないが、本研究の単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率は 1mg/L 区のアジュガで 1.00%、キショウブで 2.00%、ハナショウブで 4.33%、トールフェスクで 4.33%、ペレニアルライグラスで 7.33%であり、7 日間という短い実験期間を考慮すれば、アジュガを除きアブラナ科植物に近い Cd 吸収能を有していると考えられる。さらに、ポットあたりの Cd 吸収率では単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率が高いだけでなく、植物体（乾燥重量）の大きさが最終的に植物体全体に取り込む Cd 量を左右することから、植物体の大きいキショウブ、ハナショウブはそれぞれ、28.23%、49.40%とアブラナ科植物に引けを取らない Cd 吸収能を示す結果となった。さらに、本実験の供試植物を実験結果から単純比較すると、単位乾燥重量あたりの Cd 吸収率ではペレニアルライグラス $\geq$ トールフェスク $>$ キショウブ $\geq$ ハナショウブ $>$ ミゾソバ $\geq$ アジュガという順序となった。しかし、ポットあたりの Cd 吸収率として比較すればキショウブ（1株あたり） $\geq$ ハナショウブ（1株あたり） $\geq$ ペレニアルライグラス $\geq$ トールフェスク $>$ ミゾソバ $\geq$ アジュガとなった。因みに、全て 1株あたりに比較すると、ハナショウブの 1mg/L 区の 1株あたりの Cd 吸収率はアジュガの 28.5 倍、ミゾソバの 19.6 倍、ペレニアルライグラスの 1950.3 倍、トールフェスクの 2117.4 倍と非常に高い結果となり、植物体が大きいことが Cd 吸収除去に極めて有効であることが示唆された。

また、一般的に根部（地下部）から吸収したCdなどの重金属を茎葉部（地上部）に移行させることの出来る植物が有効とされている。これを、単位乾燥重量あたりのCd重量比（茎葉部/根部）で示すと、1mg/L区ではミゾソバが最も高い値となり、次いでペレニアルライグラス>アジュガ>トールフェスク>キショウブ>ハナショウブという順序となる。しかし、これらの数値は実験区のCd処理濃度によって変動し、100mg/L区ではペレニアルライグラスが最も高い値となり、次いでトールフェスク>ミゾソバ>キショウブ>アジュガ>ハナショウブという順序となることが明らかとなった。

以上の結果から、単位乾燥重量あたりのCd重量比（茎葉部/根部）が高くても、実際には茎葉部の大きさやCd処理期間、生育状況など様々な要因が複合して茎葉部にCdが吸収されることが予想され、ファイトレメディエーションを行なう際には、対象となる汚染地の状況に合わせた植物選定や植栽後の維持管理などが極めて重要であると推測された。

Cd濃度による生育被害に関しては実験期間によって大きく左右され、一概には言えないが、100mg/L区でペレニアルライグラス、トールフェスク、ハナショウブなどは顕著な生育被害が現れたが、ほとんど生育被害を受けなかったミゾソバ、アジュガ、キショウブなどは特にCd耐性が高いものと推察された。また、ペレニアルライグラス、トールフェスクなどの芝草は植物体中Cd濃度が極めて高くなるが、非常に生育被害を受けやすく、7日間では10mg/L前後のCd処理濃度が生育の限界であると推測された。このことから、ペレニアルライグラスやトールフェスクは低濃度の汚染地に限り、ファイトレメディエーションに利用できるものと推測される。

## 参考文献

- 1) A. J. M. Baker, S. P. McGrath, C. M. D. Sidoli, R. D. Reeves (1994): The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants: Conservation and Recycling, 11, 41 - 49
- 2) 杉山 恵, 阿江教治 (2004): カドミウム汚染土壌に対するファイトレメディエーションの有効性と問題点: 第21回土・水研究会資料 農耕地における重金属汚染土壌の修復技術の現状と課題: 独立行政法人農業環境技術研究所, 8-14pp
- 3) Fumie Shinmachi, Yuki Kumanda, Akira Noguchi, and Isao Hasegawa (2003): Translocation and accumulation of cadmium in cadmium-tolerant *polygonum thunbergii*: Soil Science Plant Nutr. 49(3), 355-361
- 4) Fumie Shinmachi, Yuki Kumanda, Akira Noguchi, and Isao Hasegawa (2003): Stem-specific cadmium accumulation in cadmium-tolerant *polygonum thunbergii*: Soil Science Plant Nutr. 49(3), 363-368
- 5) 浅井俊光・高橋良和・水庭千鶴子・近藤三雄 (2005): アジュガ (*Ajuga reptans* L.) による水耕液中のカドミウムの吸収除去に関する研究, ランドスケープ研究 68 (5), 537-540
- 6) 浅井俊光・宮本れい・水庭千鶴子・近藤三雄 (2006): アヤメ科植物によるカドミウムの吸収除去に関する研究, ランドスケープ研究 69 (5), 451-454
- 7) 浅井俊光・佐藤文・水庭千鶴子・近藤三雄 (2007): ペレニアルライグラスおよびトールフェスクのカドミウム吸収能について, 芝草研究 36(1), 20-25
- 8) 浅見輝男 (2005): カドミウムと土と米: アグネ技術センター, 15
- 9) 浅見輝男 (2001): データで示すー日本土壌の有害金属汚染: アグネ技術センター, 132 -133
- 10) O' Keeffe D. H., Hardy J. K., Rao R. A., (Univ. Akron, OH) (1984): Cadmium uptake by the water hyacinth: Effects of solution factors. : Environmental Pollutant Ser A., 34(2), 133-147
- 11) 今中忠行, 森川弘道, 斎藤和季, 佐治光, 中里広幸, 長谷川 功, 西村 実 (2000): 植物による環境負荷低減技術: NTS, 183 - 185 pp
- 12) 今田成雄 (2003): 高温環境下における野菜の生理・生体反応: 農業及び園芸 78 (8), 858-863
- 13) 岡部昭典: 一枚の葉からハウレンソウの耐暑性を評価する: 独立法人農業・生物系特定産業技術研究機構ホームページ: (<http://www.cgk.affrc.go.jp/news/127/kenkyuu3/kenkyuu3.html>), 1999更新. 2004. 10. 1参照
- 14) 王 莉・東 照雄・藤村達人 (2004): 水耕栽培下でのアブラナ科 (*Brassica*) 植物によるカドミウムと無機養分の吸収特性, 日本土壤肥科学雑誌 75(3), 329-337

# 軽量プラスチック資材を利用した屋上水辺緑化の試み

笹田勝寛（日本大学生物資源科学部生物環境工学科）

内田 誠（日本大学大学院生物資源科学研究科）

## 要旨

本報告では屋上緑化と水辺ビオトープを複合させ、屋上における水辺緑地空間の創出することを目的に、軽量プラスチック資材上にコケ植物を生育させた浮島製作の試みについて、植生基盤としての評価と温熱環境緩和機能の評価に着目した試験の結果を報告する。

## 1. はじめに

急速な経済発展にともなう産業活動や都市化などが、地球温暖化や都市部におけるヒートアイランド現象および生物種の減少などの問題を引き起こしていることは周知の通りである。ヒートアイランド現象の緩和策として、屋上緑化や壁面緑化は各地での法的な整備も後押しするなかで施工実績を増やしてきた。しかし、施工性とコスト、構造物への荷重や植栽の強風に対する対策などが課題となっている。また、水辺ビオトープも教育機関等での施工実績が多く見られるが、そこでの植生の維持と水管理に多大の労力やコストが必要などの問題は避けて通れない。これらの理由から、屋上緑化を低管理かつ低コストで達成するためには、その材料として土壌を使わず、用水を可能な限り雨水で涵養することが適当と考え、屋上において水辺を創出しさらに水面を緑化する試みを行った。水辺での緑化のために施工性を考慮して浮揚性のある軽量プラスチック資材を用い、緑化の植物としては雨水が貧栄養であることに適応した植物種としてコケ植物、特に水辺での生育を期待してミズゴケを生育させることとした。貧栄養・温度較差・強風といった植物にとって過酷な環境といえる屋上において、軽量プラスチック資材を利用した水辺緑化が低管理・低コストの緑化法としての有効性について、ミズゴケの生育と温熱環境で評価を行った。

## 2. 材料と試験地の概要

### 2-1. 浮島の構造

水辺緑化の植生基盤としての浮島は、施工性を重視して図1に示すような30cm×60cmの板状の軽量プラスチックを使い、ミズゴケを定着させるための材料として不織布、またはヤシマットを用いて、その四隅を針金で固定する簡易的な構造のものとした。浮島上に生育させるミズゴケは福島会津若松市の湿地で採取したものを使用し生育試験を行った。



図-1 浮島の構造

### 2-2. 試験地の概要

試験に使用した水辺ビオトープは神奈川県藤沢市に所在する日本大学生物資源科学部内の生物環境科学研究センター（以下、CNES）の屋上実験池（以下、屋上池）で、②～⑥の水槽が連続しており、水の循環が行われている（図2）。



図-2 試験地の概要

## 3. 試験の方法

### 3-1. 浮島での植物生育状況の把握

屋上池においてミズゴケと食虫植物の

生育試験を行い、軽量プラスチック資材による浮島の植生基盤としての評価を行った。緑被率は各月ごとに撮影した浮島の写真をもとに、Adobe PhotoshopCS4 を利用した色域指定されたグリーンの面積によって緑被率を求めた。調査期間は 2009 年 5 月から 9 月までとし、浮島上で発芽・生育している植物については目視にて種類のみを確認を行った。

### 3-2. 温熱環境調査

#### 1) 温度分布

浮島上や屋上の温度分布を視覚的にとらえ、効果を明確に表すためサーモグラフィ (TVS-200EX) を用いた熱画像の解析を行った。対象は生育試験を行った浮島の 2009 年 8 月 19 日の画像を使用した。

#### 2) 経時的温度計測

経時的な温度変化の把握として、屋上池においてデータロガーによる温度計測を行った。計測地点は①浮島上、②水中、③水上、④コンクリート上で、試験地域の気象データとしてアメダスデータ (辻堂) も収集した。

## 4. 試験の結果

### 4-1. 浮島での植物生育状況

#### 1) ミズゴケの繁茂状態

浮島上のミズゴケの繁茂については写真に、緑被率については図 3 に示した。ミズゴケの緑被率は経月変化により徐々に増加傾向を示した。

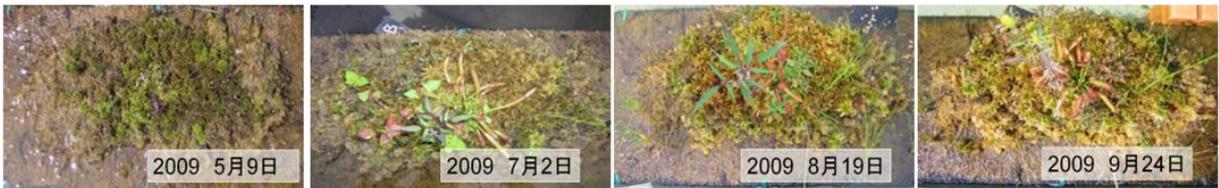
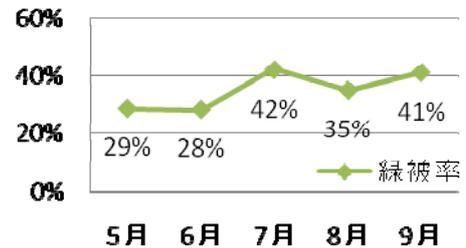


写真 ミズゴケの生育状況

#### 2) 生育基盤上の植物調査

発芽、生育が確認された植物は、アフリカナガバモウセンゴケ、モウセンゴケ、アメリカセンダングサ、ミズソバなど、これらの他はわずかであるが数種の植物が確認された。アメリカセンダングサ以外の種は、採取したミズゴケに種子が含まれていたものと判断された。



5月 6月 7月 8月 9月

図-3 緑被率の変化

### 4-2. 屋上池の温熱環境

#### 1) 温度分布

熱画像を解析した結果、ミズゴケの繁茂が旺盛な浮島上は 30~32°C の温度であるのに対し、ミズゴケの繁茂が少ない浮島上は 35~37°C、アメリカセンダングサ、サンカクイなどの草本類の繁茂が見られる浮島上では 26~29°C を示した。また、ミズゴケは繁茂している場所が高位にあるほど温度が低い傾向が見られた。これはミズゴケが含む水分量が少なく、蒸散量が小さいためと考えられる。

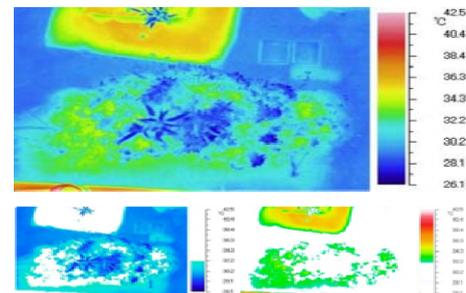


図-4 浮島と周辺の温度分布

#### 2) 経時的温度変化

特に夏期における気温の時間変化では、植生のない浮島上で 5 時ごろから温度が急激に上がり、コンクリート上と同等の値をとったのち、16 時ごろから急激に下がった。浮島でも植生のない場所を作らない工夫が必要といえる。

### おわりに

貧栄養条件の屋上において、ミズゴケやそこに依存する植物の生育は良好であり、ミズゴケの生育する部分は温度が低いことが確認された。また、浮島上をできる限りミズゴケなどの植生で覆うことか、植生がなくとも高水分状態をつくり出すことによって、表面温度の低減効果は得られるといえ、そのような条件を低コストかつ低管理でつくり出すことが今後の課題といえる。

# Storm water 対策に向けた実降雨パターンを用いた屋上緑化の流出シミュレーション

菊池 佐智子(明治大学 研究知財戦略機構)、興水 肇(明治大学 農学部)

## 要旨

実際の市街地構造における屋上緑化の雨水貯留、流出抑制効果の有効性を検証するため、東京都千代田区飯田橋を中心する 17 街区をケーススタディに流出シミュレーションを行った。想定した 3 種の降雨イベントから、総雨水流出量の低減と降雨初期の流出抑制に効果を発揮することが示唆された。

## 1. 研究の目的

本稿では標高、土地利用、建築物・道路網、公園緑地に関する GIS データベースと流出係数、屋上緑化の雨水流出調査事例<sup>1,2)</sup>を踏まえて、現状把握と雨水流出シミュレーションを行い、屋上緑化による街区レベルの雨水流出遅延効果を検証した。なお、本稿は、平成 21 年度日本造園学会全国大会で発表した「実降雨パターンと浸水被害の分析に基づく屋上緑化適地の評価に関する研究」を本研究会用に加筆、修正したものである。

## 2. 研究の方法

### 2-1. データセットの作成と降雨パターンとモデル街区の設定

現状把握に用いたデータセットを表 1 にまとめた。雨水流出シミュレーションに用いる降雨イベントは、AMeDAS の気圧と降水量を集計して、連続 24 時間の総雨量を示す最大降雨継続時間内総雨量 234.5mm/日 を記録した 1993 年 8 月 27 日、最大降雨強度 78.0mm/hr を記録した 2000 年 7 月 4 日、それらの平均降雨強度 4.2mm/hr と降雨パターンとした。そして、浸水面積と床上・床下浸水棟数の関係、浸水被害発生頻度、菊池(2007)の地域分析の結果<sup>3)</sup>から、千代田区の飯田橋、三崎町、九段北、神田神保町、西神田の 17 街区を屋上緑化施工モデル街区とした。

### 2-2. GIS 技術の利用と浸水被害の解析

#### 1) GIS 技術の利用

本調査の成果から、現状把握、屋上緑化の適地抽出、評価、その後の維持管理までを一体的にとらえた緑化重点地区検討への展開を見据え、GIS の使用が有効と判断した。GIS ソフトは、ESRI 社の Arc GIS Desktop 9.2 とその拡張機能の Spatial Analyst と 3D Analyst を使用した。表 1 のデータを用いて、①平均街区標高、②建蔽率、③平均屋上面積、④道路密度を算出し、⑤公園緑地等の面積割合とその配置、⑥浸透・不浸透分布図(表 2 参照)を作成し、街区特性と屋上緑化施工エリアを検討した。

#### 2) 屋上緑化の雨水流出シミュレーション

策定エリアに施工する屋上緑化は、多種多様な形態が考えられることから、平均的な流出係数 0.80、流出開始時間 12 分 37 秒<sup>2)</sup>を用いた。屋上緑化の施工を仮定した土地利用形態は、土地利用形態別屋上緑化施工状況に着目し、10m メッシュ土地利用(1994)の「工場用地」、「商業・業務用地」、「その他の公共公益施設」とし、それらの流出係数を屋上緑化の流出係数に変更した。そして、3 つの降雨イベントに対する適切な屋上緑化エリア雨水流出特性を検討するため、屋上緑化パネルに流入するピーク流量  $Q_p$  が浸透量  $Q_e$  だけ低減される効果を示すピークカット効

果(式 2)<sup>4)</sup>とピーク流量  $Q_p$  からみたその割合をピーク低減比(式 3)<sup>4)</sup>を用いて、シミュレーションを行った。

表 1 分析、解析に使用したデータ名称と概要、作成年

名称	データ概要	作成年
数値情報5メートルメッシュ(標高) 東京都区部(国土地理院)	航空レーザ測量による精密地盤高計測によって取得した標高データ(数値標高モデルDEM: Digital Elevation Model)	2003
住宅地図データベース zmap-TOWN II (ゼンリン)	行政界面、一般面、水域線、行政界線、鉄道(交通)、道路、地図形状、家柵形状、行政界名、文字、記号	2006
数値地図2500(空間データ基盤) 関東3(国土地理院)	行政界、行政区域、街区界、街区区域、道路中心線、道路節点、鉄道、駅、場境界、場地区域(都市公園、学校敷地等)、水部界、水部区域、公共建物界、公共建物区域、三角界	2003
公園緑地配置 (千代田区ホームページ)	区立都市公園、区立児童公園、区立子ども広場、面積	2008 (閲覧)
総合設計制事業 (東京都都市計画プロジェクト ホームページ)	名称、位置、用途、敷地面積、建築面積、延べ面積、駐車場等面積、高さ、階数、公開空地、有効公開空地、用途地域、許可年月日、種別、人口、戸数	2008 (閲覧)
IKONOS衛星写真 (日本スペースイメージング社)	デジタルオルソ・ライト画像(マルチスペクトル)	2006
細密数値情報 (10メートルメッシュ土地利用) 首都圏(1979、1989、1994) 国土地理院	宅地利用動向調査をもとに作成された土地利用に関する数値情報 土地利用項目(山林・荒地等、田、畑・その他の農地、造成中地、空地、一般低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住宅地、工業用地、商業・業務用地、道路用地、公園・緑地等、その他の公共公益施設用地、河川・湖沼等、その他)	1979 1989 1994

表 2 浸透・不浸透分布図作成に使用した流出係数<sup>5)</sup>

土地利用の形態	流出係数	土地利用項目との対応
宅地	0.90	一般低層住宅、密集低層住宅、中高層住宅
池沼、水路、ため池	1.00	河川・湖沼等
道路、鉄道線路	0.90	道路用地
コンクリート等の不浸透性の材料により覆われた土地	0.95	工業用地、商業・業務用地、その他の公共公益施設 (詳細はIKONOS衛星写真、2006にて判読)
ゴルフ場(排水施設を伴う)	0.50	公園・緑地等 (詳細はIKONOS衛星写真、2006にて判読)
運動場その他これに類する施設(排水施設を伴う)	0.80	公園・緑地等 (詳細はIKONOS衛星写真、2006にて判読)
ローラーその他これに類する建設機械を用いて締め固められた土地	0.50	造成中地、空地
林地、耕地、原野その他ローラーその他これに類する建設機械を用いて締め固められていない土地	0.20	山林・荒地等、田、畑・その他の農地

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3600} \dots \text{式 1} \quad \Delta Q = Q_p - Q_c \dots \text{式 2} \quad p = \frac{Q_p - Q_c}{Q_p} \dots \text{式 3}$$

ここで、 $Q$ ：最大雨水流出量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $C$ ：流出係数、 $I$ ：到達時間  $t$  内の平均降雨強度( $\text{mm}/\text{hr}$ )、 $A$ ：街区面積( $\text{ha}$ )<sup>1)</sup>、 $\Delta Q$ ：ピークカット効果( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $Q_p$ ：現状の雨水流出量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $Q_c$ ：屋上緑化

を施工した場合の雨水流出量( $m^3/s$ )、 $p$ : ピーク低減比<sup>4)</sup>とする。

### 3. 屋上緑化施工重点エリアと雨水流出量の関係 (表3参照)

①平均街区標高、②建蔽率、③平均屋上面積、④道路密度、⑤公園緑地等の面積割合とその配置、⑥浸透・不浸透域図を図1に示す。

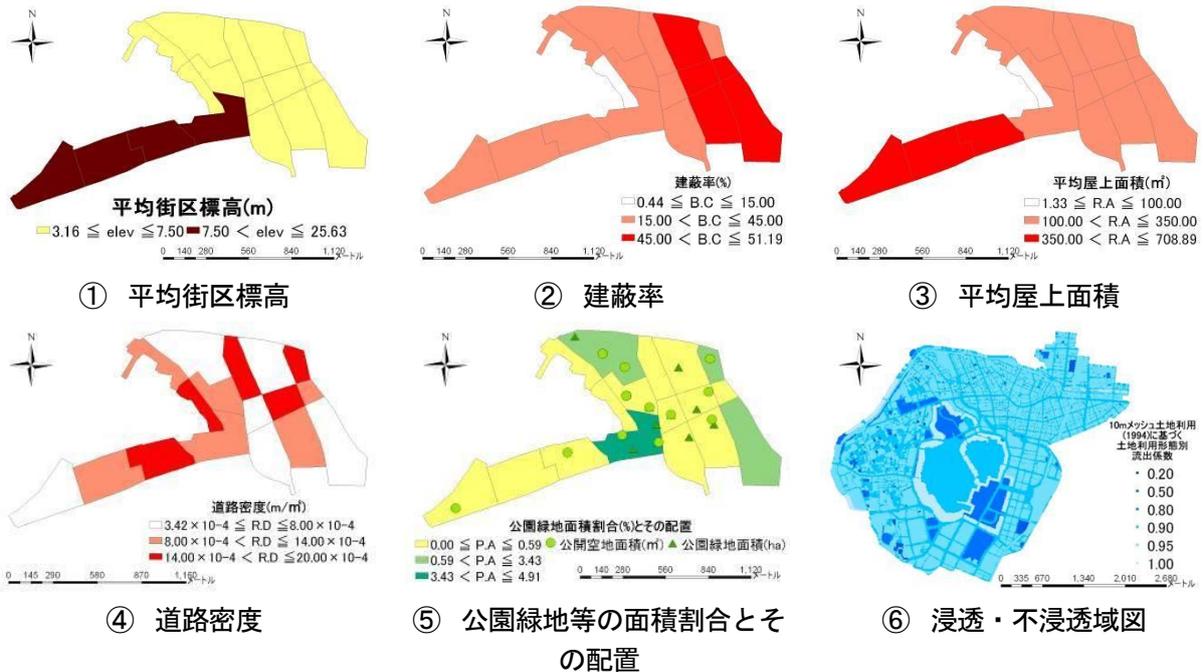


図1 都市構造把握と屋上緑化施工エリア検討に用いた主題図を示す。これらの主題図を、GIS上で重ね合わせ、屋上緑化を重点的に施工することにより、雨水流出遅延効果が期待できる街区(屋上緑化施工エリア)を検討し、平均街区標高が7.5m以上のエリア(標高・高)、平均街区標高が7.5m未満のエリア(標高・低)、建蔽率が45.00%を超えるエリア(建蔽率・高)、平均屋上面積が350.00m<sup>2</sup>を超えるエリア(屋上面積・大)の4ケースを選定した。

屋上緑化施工重点エリアと当該街区内流出係数置換面積は、標高・高では4街区、1,470(m<sup>2</sup>)、標高・低では13街区、5,110(m<sup>2</sup>)、建蔽率・高では5街区、2,269(m<sup>2</sup>)、屋上面積・大では3街区、956(m<sup>2</sup>)であった。これらの値と流出開始時間を用いて、雨水流出をシミュレーションした(表3参照)。想定した4つのケースは、着目した空間特性が異なり、並列で比較することはできない。そこで、各ケースのピークカット効果とピーク低減比を算出し、設定した降雨強度および降雨パターンにおける屋上緑化施工重点エリアの雨水流出特性の把握を試みた。

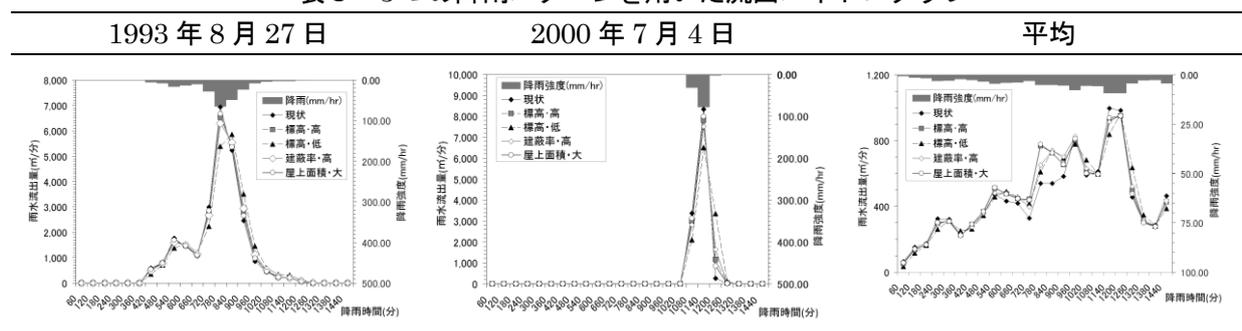
1993年8月27日の降雨パターンを使用して、雨水流出シミュレーションを行った場合には、最大ピークカット効果は降雨開始780分後、最大ピーク低減比は降雨開始420分後を示しており、屋上緑化による雨水流出の減少を示唆するものといえる。そして、設定した降雨強度および降雨パターンの場合、最大降雨強度時に雨水流出抑制効果が最大となり、その効果は降雨開始初期に最も発揮されることが明らかになった。

次に、2000年7月4日の降雨パターンを使用して、雨水流出シミュレーションを行った場合には、最大ピークカット効果は降雨開始1,140分後、降雨終了1,200分後のピーク低減比がマイナスの値を示しており、屋上緑化による雨水流出の現状を示唆するものといえる。そし

て、設定した降雨強度および降雨パターンの場合、最大降雨強度時に雨水流出を抑制することが可能であったが、降雨終了直後の雨水流出量の違いが明らかになった。

そして、平均的な降雨パターンを使用して、雨水流出シミュレーションを行った場合には、最大ピークカット効果は降雨開始 1、140 分後、ピーク低減率は先の 2 つの降雨強度および降雨パターンとは異なる傾向を示している。そして、設定した断続的に続く降雨強度の弱い降雨パターンでは、施工エリアの空間特性だけではなく、屋上緑化形態をも踏まえたシミュレーションの必要性が示された。

表 3 3つの降雨パターンを用いた流出ハイドログラフ



#### 4. 考察と今後の展開

平均街区標高、建蔽率、平均屋上面積に着目した雨水流出シミュレーションの結果、設定した3種の実降雨パターンについて、屋上緑化による雨水流出量に対する低減効果が確認された。これは、屋上緑化を施すことで、雨水流出を遅らせ、下水管に流れ込む流量を減少させることを示唆するものである。また、単位時間当たりの降雨量が多く、降雨時間の短いゲリラ豪雨と呼ばれる集中豪雨を対象とした場合、屋上緑化は降雨開始初期の雨水流出量の抑制に効果を有することが本シミュレーション結果から明らかになった。本結果から、雨水流出抑制効果を期待する降雨強度および降雨パターンの把握、施工する屋上緑化形態に合わせた流出係数、流出開始時間の定量化、下水道の整備状況等、流域特性を考慮したシミュレーションの必要性が示唆された。今後は、施工実績のある粗放型薄層屋上緑化システムを用いた流出実験から、流出係数および流出遅延時間を算出し、本シミュレーションの精度を高める。

#### 5. 補注及び引用文献

- 1) 村山ら(1997)：屋上緑化の雨水流出抑制効果について：第28回日本緑化工学会研究発表会研究発表要旨集、319-322.
- 2) 作山(2004)：赤坂見附を対象とした屋上緑化の雨水流出抑制効果の検討：明治大学農学部農学科2003年度特別研究(卒論)発表会講演要旨集、77-78.
- 3) 菊池(2007)：緑空間と文化コミュニティの評価に基づく持続可能なまちづくりの方法論的展開：Landscape ecology design and engineering No.4、190pp.
- 4) (社)雨水貯留浸透技術協会(1998)：雨水利用ハンドブック：山海堂、380pp.
- 5) 国土交通省河川局：流出雨水量の最大値を算定する際に用いる土地利用形態ごとの流出係数を定める告示(平成16年国土交通省告示第521号)：特定指定都市河川浸水被害対策法の概要〈[http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet\\_jirei/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/index.html)〉2003.3.10公開、2008.9.1閲覧.

# ドイツ南西地域の環境緑化事例

飯島健太郎（桐蔭横浜大学 工学部）

## 要 旨

ドイツ南西部の環境緑化を視察した。地域環境の健全化のために徹底した土地利用計画と緑地保全整備指針のもと大小様々な空間に緑が創出され、またそのネットワーク化が図られている。さらに特殊緑化がその緑のネットワークの一部を形成し、有効に緑化機能を果たしている。

## 1. はじめに

わが国においても、屋上緑化や壁面緑化などの特殊緑化が広く一般に認識されるようになった。国や各地方自治体の政策展開を受けて、2000年以降急速にその緑化面積を伸ばした結果、都心の公共施設、ショッピングセンター、オフィスビルなどで建築物緑化を目にする機会が増えたことによる。都市環境の改善、特に暑熱環境の緩和について、土地利用上の観点から計画される手法の一つが特殊緑化であり、1990年頃から屋上緑化に関する技術研究からその効果を検証する研究が積極的に行われてきた<sup>2)</sup>。また同時期から調査団によるドイツの屋上緑化やビオトープ公園の視察が盛んに実施された。とりわけ屋上緑化では、気候風土の異なるドイツの緑化技術を直輸入して施工後に著しく枯損させるケースが散見されたり、そもそも屋上緑化の完成型に対するドイツと日本の方針の相違を認識せずに施工して混乱するケースもあった。それから10年、技術的な改良や導入植物の工夫によって、わが国においてもその生産から維持管理までの一つのシステムが確立しつつある。しかしいまだにオーナーの求める緑化形態と施工商品の特質の乖離がトラブルとなっていることがある。ところでオーナーの希望によって空間展開されるわが国の屋上緑化は現状「点」として存在している。そのあたりには、オーナーのニーズとともに地域の緑としての価値観の持ち方など多様性があり、屋上緑化であっても周辺の緑とのつながりを意識するドイツの緑化理念に学ぶ点は大きい。

2009年3月にドイツ南西部の環境緑化に関する視察の機会を得たので、まずドイツの環境政策と緑化展開について概観し、併せて各種空間の緑化事例とグラウンドカバープランツの導入例についても紹介したい。

## 2. ドイツの環境政策とその緑化展開

ドイツの環境政策の特徴を一言で表現するならば、気候風土と生態学的な観点に基づく土地利用計画と行政の規制誘導型と言える。1976年連邦による自然保護・ランドスケープ保全法(Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege)の策定の以降、各都市の環境マスタープランである「ランドスケープ計画/Landschaftsplan」の策定が積極的に行われている。ランドスケープ構想は、ドイツ建設法典に基づく土地利用計画/Fプラン(F Plan/Flachennutzungsplan)と地区詳細計画/Bプラン(B Plan/Bebauungsplan)と並列の関係にあるランドスケープ計画(Lプラン/Landschaftsplan)と緑地整備計画(Gプラン/Grünordnungsplan)によって構成されている。FプランとBプランで規定されている建築関連項目以外の要素として、例えばLプランでは、オープンスペースの分析、大気、土壌、水などの自然生存基盤、伝統的景観、動植物やビオトープ保護(生息空間の保護)などについて、Gプランでは、建物、個人の庭、公園、商工業用地、池、川などの土地利用、樹木の位置、種類、大きさ、生垣、雑木林などの緑、自然石舗装、透水性舗装、アスファルト、コンクリートなどの舗装、地質の境界や排水の方向などを規定している。

すなわち地域レベルの環境緑化対策の全体像が明確化していることから、環境緑化への取り組み

みは目に見えて体系的に進んでいることが認識できる。こうした環境対策に対する企業や市民レベルの意識が高いことはよく紹介されているが、その理念が比較的浸透していること、理解されれば徹底的に展開していく国民性であるがゆえの推進力とも考えられる。

### 3. シュツットガルトを事例とした環境緑地整備

シュツットガルト市は周囲を丘陵に囲まれた典型的な盆地地形である (Fig.1)。大気が滞留しやすい状態であるため、かつて商工業の発展とともに大気汚染などの公害や温暖化による暑熱環境の悪化が深刻化した。そこで大気汚染や都市気候の緩和の観点から、大気の流れの制御を重視した都市計画を展開し、その効果をより有効にするための道路や軌道、公園、建築物の配置や緑化を規定し、体系的な都市整備を展開している。大気の流れの制御、すなわち「風の道 (Kaltluftabflutz)」を都市整備に展開するために、気象・大気の基礎的な調査を L プランの中で実施し、大気の流れ、温度、湿度について詳細な調査データをまとめている<sup>8,9)</sup>。その結果、周囲の丘陵地、傾斜地部分にも住宅地が及んでいるが、風の道として重要なエリアは緑地が保全創出されたり、住宅の階高が制限されたりする。傾斜地にあるブドウ畑 (Fig.2) のほか、比較的密集した傾斜地の住宅団地においても緑視率が高く、後に述べるようなガレージ上の人工地盤緑化などが積極的に行われている。さらに傾斜地の緑化と連続した場所の建築物にも屋上緑化が行われるなど、体系的な緑地整備が図られている。

もう一つ、シュツットガルトの緑地整備として重要な歴史と今なお進行している計画に、「緑のコリドーネットワーク計画」、すなわち「緑の U / Grune U」がある。1928 年ヘルマンヘッセ教授 (ランドスケープアーキテクト) による都心に隣接した U 字型のグリーンネットワーク構想の提案に始まるとされている。1936 年帝国庭園博覧会の設計コンペによって具体的な形が示され、1959 年、1961 年、1977 年の連邦庭園博覧会を経て、1993 年国際庭園博覧会 (IGA) によって、その 8 km にわたる U 字型のグリーンネットワークの基本系が形成された<sup>6,7)</sup>。そのグリーンネットワークは、中央駅を囲むように、シュロス広場、ネッカー川、ローゼンシュタイン公園、キレスベルグにつながっている (Fig.3、4)。シュツットガルト造園墳墓森林局 Werner Koch 局長によれば、この緑の U は、市民の健康ために将来にわたって必要不可欠なものであると説明されている。

### 4. 各種緑化事例

#### 1) 道路上の公園緑地

道路交通による周辺環境の影響を改善するために一定区間をトンネル化しその上部を公園化する方法をカールスルーエ、シュツットガルト、ミュンヘンの 3 都市で視察した。

カールスルーエのアウトバーン上につくられたビオトープ公園は、環境都市ドイツの先進事例としてよく紹介されている<sup>3,4,5)</sup>。0.6 km にわたってアウトバーンがトンネル化されてその上部に創出された公園である (Fig.5)。道路建設にあたって従来あったアルプ川は平行移動し、自然再生が図られた (Fig.6)。道路の幅とその両側の土手を含む緑地と平行する再自然化されたアルプ川を含め広大なビオトープ公園となっている (Fig.7、8、9)。このビオトープ公園は道路上からドイツ鉄道を超え、その先に続くアルプ川に沿った帯状の緑地へつながり、広大なクラインガルテンへと緑地の連続性が確保されている。

シュツットガルトの事例としては、ネッカー川に隣接する緑地について紹介したい。これは先に述べた「緑の U」の一部を構成するエリアである。またアウトバーン、トラムと複雑な交通網を抱えているエリアでもある。「緑の U」にかかるアウトバーンを完全トンネル化し、その上部にネッカー川流域を含むゆるやかな起伏のある公園緑地として整備され (Fig.10、11、12)、走行するトラムは公園緑地のある地上部を走行する構造となっている (Fig.13)。これにより静穏で

ゆったりとした空間の形成が図られており、「緑の U」の一部は人工地盤緑地として整備されていることが分かる。

ミュンヘンの事例は、0.7km にわたる道路の幅に限られたトンネル上の緑地である。整形的に刈り込まれた低木とともに園路が配された草地で構成されている。緑地帯ともクロスしており、ここでも緑地の連続性への配慮が認められた (Fig.14、15、16)。

いずれも人工地盤上であり、広大な草地あるいは野草の生育する空間 (ワイルドフラワー) として整備されている。

## 2) 河川の再自然化

本来河川は、生態系を育む貴重な空間を提供していたが、流域開発による影響のほか、直線化、人工構造物化など著しく人為化の影響を受けてきた。近年では、わが国においてもドイツで実施されてきた近自然河川工法を参考に、多自然型川づくりが実施されている。ドイツでは河川改修は環境への侵害であるとの考えのもと、近自然工法により再自然化が推進されている。生物の生息空間の修復のために護岸にハンノキの植林や草地の土手を造成している。周辺環境の緑地化と合わせてコンクリートの水路を土手に野草の生育する小川として再整備する例もあり、大規模河川から小規模の水路にいたるまで、徹底した生態系の修復を意図した取り組みが行われている (Fig.17、18、19)。

## 3) 集合住宅の中庭緑地

集合住宅の多くは中庭空間を構成する形で建築されている。一方、ドイツの住宅は駐車場の確保を重要な課題としており、集合住宅においては厳しい規定のもとに徹底して地下駐車場を設けている。ところで集合住宅付近を歩いていても地下駐車場があるとは気づきにくい。その周囲は緑の恵まれ、中庭はシークレットガーデンのごとく芝生と園路、園芸草花が彩りを添えているなど住民の憩いの空間となっている。しかしその中庭の地下は駐車場となっているケースが少なくない (Fig.20、21、22、23)。人工地盤上でない部分には高木が配され、人工地盤上には薄層対応の草地や低木類の植栽が行われ、全体としては樹林に囲まれた芝生地のような緑豊かな環境を感じさせてくれる。

## 4) 傾斜地にある住宅団地のガレージ緑化

シュツットガルトは丘陵に囲まれた地形であり、中心市街地からは傾斜地の住宅団地や緑地が視認されやすい。既に述べた「風の道」の確保のため傾斜地にある緑地保全については緻密な規定がされている。にもかかわらず傾斜地にある住宅団地においても、その敷地内の積極的緑化が図られており、庭があれば大小多様な樹種・草種が植えられている。傾斜地の住宅団地の庭は狭隘である場合が多いが緑視率の高さを感じる。特にガレージ上に土壌がもられ、コニファー類を含む低木類の植栽や野草の土手を形成している (Fig.24)。さらにはガレージ前に下垂させる方法でオウバイなどの下垂性植物を植栽するなど緑視率を高める工夫がなされている (Fig.25)。

## 5) 屋上緑化と緑化屋根

ドイツにおいて屋上緑化の積極的推進がスタートしたのは 1990 年頃である。その後、技術面では多くの課題をクリアしながら安定した技術として普及するに至った。現在わが国でも周知、展開している管理以外の立ち入りが想定されていないタイプの屋上緑化、これはドイツでは「粗放型緑化/Extensive roof planting」として位置づけられ、ドイツ風の緑化理念に基づいて長年にわたってその技術を確立してきたものである。わが国でいうところの薄層基盤緑化であるが、ドイツのそれは単一種から数種の草種を導入して徹底した管理のもと緻密なターフ状態を目指すことは殆どない。施工方法は、屋根上に土壌浸食防止の工夫が施された基盤条件に直接播種する方法が一般的である。播種する種類は、グラス類、野草類、ハーブ類、セダム類、球根類などのグラウンドカバープランツであり、具体的にはアリウム類 (アリウム・フラウム: *Allium flavum* など)、ゴルデーデンヤーロー (*Eriophyllum lanatum*)、ヒエラキウム・ピロセラ (*Hieracium pilosella*)、



Fig.1 シュツットガルト周囲の丘陵地帯



Fig.2 中央駅近くのブドウ畑



Fig.3 緑のU



Fig.4 緑のUの一部／中央駅付近



Fig.5 高速道路上のピオトープ公園（カールスルーエ）



Fig.6 同／道路に平行するアルプ川



Fig.7 同／道路上の草地



Fig.8 同／道路のり面の低木植栽



Fig.9 同／草地とアルプ川をむすぶ通路



Fig.10 道路上の緑地（シュツットガルト）



Fig.11 同／ネッカー川付近・緑のUの一部を形成している



Fig.12 同／道路上の芝生園地



Fig.13 同／芝生園地の中にトラムが走行



Fig.14 道路上の緑地（ミュンヘン）



Fig.15 同／地図上にも道路上の緑地が表現されている(KOMPASS:City plan Munchen より)



Fig.16 同／道路が完全にトンネル化されている区間



Fig.17 ネッカー川の再自然化(シュツットガルト)



Fig.18 小川のビオトープ(ミュンヘン郊外)



Fig.19 同/住宅街のある上流



Fig.20 集合住宅の中庭へのアプローチ(ミュンヘン郊外)



Fig.21 同/緑豊かな中庭



Fig.22 中庭にある地下駐車場の入口



Fig.23 同/道路から地下駐車場へのアプローチ・周辺に樹木を植栽



Fig.24 傾斜地の住宅地のガレージ上の緑化(シュツットガルト)



Fig.25 同/下垂性植物によるガレージ上の緑化



Fig.26 シュツットガルト造園墳墓森林局の緑化屋根



Fig.27 同/施工後20年経過した状態



Fig.28 中央駅付近の建築物に続々と登場する粗放型緑化(シュツットガルト)



Fig.29 消防署屋上の管理型緑化(シュツットガルト)



Fig.30 駐車場上部の管理型緑化(カールスルーエ郊外)



Fig.31 ケーブルカー乗り場屋根の粗放型緑化(カールスルーエ郊外)



Fig.32 ドイツではよく見られる住宅建築の壁面を覆うツル植物（カールスルーエ）



Fig.33 ツル植物の誘引資材が設置された建築物（カールスルーエ）



Fig.34 市街地に並べられたコンテナ（ミュンヘン）



Fig.35 軌道と歩道の境に並べられたコンテナ



Fig.36 斬新なコンテナ式建築物緑化（カールスルーエ）



Fig.37 同／仕立物の樹木やタケが導入されている



Fig.38 オフィスビル入口へのアプローチ（ミュンヘン郊外）



Fig.39 同オフィスビル入口／ガラス張構造によりアトリウム空間と一体化



Fig.40 同オフィスビル／公園緑地のような室内



Fig.41 ペルラッハ地区の長屋建築（ミュンヘン郊外）



Fig.42 同／開口部を多く設けた建築物南面



Fig.43 同／多くの長屋にソーラーパネルが設置されている



Fig.44 同／長屋建築の玄関側と物置



Fig.45 同／物置にもツル植物による緑化が試みられている



Fig.46 同／ゴミシュルター上部に施された粗放型緑化



Fig.47 芝生軌道 (シュツットガルト)



Fig.48 同/勾配区間の芝生軌道のはじまり



Fig.49 隣接する公園の芝生と一体化された芝生軌道 (ミュンヘン)



Fig.50 既存軌道の緑化 (ミュンヘン)



Fig.51 同/セダム類数種が導入されている



Fig.52 同/冬期は紅葉、6月には一面開花する



Fig.53 クラインガルテン (カールスルーエ)



Fig.54 同/芝生中心の区画



Fig.55 クラインガルテンの入口 (ミュンヘン)



Fig.56 同/ガーデンファニチュア中心の区画



Fig.57 同/クラインガルテンでは落葉などのコンポスト化を推進



Fig.58 同/ソーラーパネルや雨水タンクが設置されたラウベ (小屋)



Fig.59 墓園 (カールスルーエ)



Fig.60 同/森林と芝生のあるゆったりとした空間に墓地がある



Fig.61 同/各墓は、彩りのよいグラウンドカバープランツで装飾されている

メリカ・シリアータ (*Melica ciliata*)、セイヨウヘビイチゴ (*Potentilla verna*)、タイリンウツボグサ (*Prunella grandiflora*)、セイヨウキンポウゲ (*Ranunculus bulbosus*)、セダム類 (ヨーロッパマンネングサ: *Sedum acre*, シロバナマンネングサ: *S. album*, ロクジョウマンネングサ: *S. sexangulare*)、センペルヴィウム類 (センペルヴィウム・テクトルム: *Sempervivum tectorum*)、ウォールジャーマンダー (*Teucrium chamaedrys*)、ヨウシュイブキジャコウソウ (*Thymus serpyllum*)、ハリナデシコ (*Tunica saxifraga*) の混合種子を播種する<sup>1,10)</sup>。これが発芽し、その地域の気候、傾斜屋根の方位、その他の環境要因によって、自然淘汰され適正な種類が生育していくという変化を容認している。播種した以外の植物が鳥の糞や風に運ばれて自然に定着することもある。草丈があり屋根に影響を与える場合には除草することもあるが、そうでなければ自然の植生変化に任せている。シュツットガルトの造園墳墓森林局の建物には、粗放型緑化の見本があり、すでに20年が経過している (Fig.26、27)。当初20種程度の播種が行われたものであるが、その中で現在生育を続けているのは10種弱、その後新たに発生したグラス類やヘメロカリス類なども生育している。整然としたわが国の人工地盤緑化とは異なり、近隣の自然植生とのつながりを感じる緑化形態を形成していた。

なお、シュツットガルトは周囲が丘陵地帯であるため、見下ろす景観としての市街地のあり方も課題となっており、そうした観点からも屋上緑化が有効であると説明している (Fig.28)。併せて、シュツットガルト21プロジェクトにおいて、30000 m<sup>2</sup>の新たな屋上緑化が創出される計画とのことである。

一方、休息などの利活用を想定した屋上緑化、すなわち「管理型緑化/Intensive roof planting」も各所に見ることができる (Fig.29)。駐車場建築上の人工地盤は比較的広い面積であり管理型緑化によって空間整備されているケースがある (Fig.30)。

なお屋上緑化は中心市街地で積極的に行われているが、カールスルーエでは郊外の丘陵地帯展望台のあるケーブルカー乗り場建築の屋上にも粗放型緑化行われていた (Fig.31)。

## 6) 壁面緑化

一般住宅から公共の建築物まで、ツル植物によって壁面緑化をしているところをよく見かける。外構部分に植栽したヘデラ類が建築物外壁面に吸着して覆われている例から (Fig.32)、登攀用補助資材を設置してフジを誘引して緑化している場合などがある (Fig.33)。わが国に近年よく導入されるようになった基盤設置型 (パネル型) の壁面緑化を見ることは無く、基盤を垂直に設置するという着想は無いのかもしれない。シュツットガルトにおいては、屋上緑化とともにツル植物等を用いた壁面緑化のパフレットを市民に配布するなど、その普及推進が図られている<sup>11)</sup>。

## 7) コンテナ緑化

中心市街地のショッピングモールにも積極的に街路樹が植栽されているドイツであるが、空間にゆとりがなく街路樹を植栽することが困難な街路も少なくない。そうした通りでは、コンテナ緑化をうまく活用している。整然と刈り込まれた低木をテラコッタやコンクリート製の統一されたコンテナに植栽し、街路樹のごとく一定の間隔で並べられている (Fig.34、35)。街路樹と同様、コンテナ緑化によってその空間のリズム感と潤いを与えている。店舗前には季節の花をアレンジしたコンテナによる演出も行われている。

一方、コンテナ緑化の新しい用途をカールスルーエで視察した。庭園内にある3階建の建築であるが、その前面巨大なフレームが設置され各階ごとにコンテナ緑化が建築的に固定されている。それぞれには、盆栽づくりのマツ類、カエデ類、タケ類などの樹種が用いられていた (Fig.36、37)。意外性ある演出であるが、近年コンテナを建築構造物に設置する緑化手法が世界的にも紹介されており、建築物緑化の一つの分野を形成していくことになるだろう。

## 8) 室内緑化

オフィスビルを事例に大規模な室内緑化を視察した。オフィスビルでは、社員の休息空間の提

供、来客へのイメージ向上に資する空間づくりの一環で室内緑化が行われる。建築物内の閉塞感を防ぐために外部空間とのつながりを意識した建築とともに、アトリウム構造となっている。屋外の前庭からの連続性に配慮されたデザインとなっており、エントランス付近はガラス張りとなっている (Fig.38、39、40)。室内であるがゆえに熱帯、亜熱帯性の観葉植物が導入されているほか、和物の低木類が導入されている例も少なくない。

#### 9) 長屋住宅と緑化

ミュンヘン郊外ペルラッハには、一風変わった長屋住宅群がある (Fig.41)。ペルラッハの長屋と言えば、住まいづくりへの住民参加、ローコスト化、エコロジカルな配慮をめざして 1978 年に建設された環境共生住宅モデルは良く知られる。省エネルギーから太陽熱利用や雨水利用などのエネルギー供給や多くのエコロジカルな配慮が長屋建築に見ることができる (Fig.42、43)。そのため屋根はもっぱら太陽熱利用装置が設置され、緑化が施されることはない。しかし 1 台から数台分の屋根付ガレージでは、粗放型の薄層緑化が施されている。

なおミュンヘン郊外の長屋建築群に面している通りには街路樹が植栽され、そこから長屋建築群のある街区に入ると、生垣で囲われた庭がありビューポイントとなるような大型樹木から各種のグラウンドカバープランツまでが彩りよく配植され緑豊かな環境となっている。にもかかわらず、さらに狭隘な人工的な空間にも緑化を施す工夫がみられた。一つは、長屋建築の玄関前にある長屋風の物置前に、ヘデラなどのツル植物をあえて誘引し立体的に緑被面を創出している (Fig.44、45)。もう一つはゴミシェルター天端の薄層緑化である。ミニチュアの屋上緑化の如くわずか 1 m<sup>2</sup>程度面積であるが、セダム類、センペルヴィウム類、コケなどの配植のほか溶岩なども並べられている (Fig.46)。同様にゴミシェルターにヘデラを意図的に覆っている例もあり住人の緑化への関心の高さを感じる。

#### 10) 軌道緑化

カールスルーエ、シュツットガルト、ミュンヘンともにトラム網が発達しており、各々中央駅付近を中心に、併用軌道の走行から、地上・地下の専用軌道、丘陵地をつなぐ急勾配の軌道など様々な状況に対応している。地上の専用軌道では芝生軌道の積極的導入が図られており (Fig.47、48、49)、帯状の緑地として重要な空間となっている。なお芝生軌道は、軌道の敷設も含めた大掛りな工事となり、芝生軌道の延伸は簡単ではない。そこで既存軌道への簡易な緑化手法として、マットタイプのセダム基盤を敷設する方法が一部に導入されていた (Fig.50、51、52)。

#### 11) クラインガルテン

クラインガルテン (Kleingarten) は、日本語では市民農園と訳す。クラインガルテン法によりその理念が謳われ、地域のクラインガルテン協会が使用を規定している。大面積の緑地であり都市計画上也重要である。ドイツ鉄道の車窓からは、その沿線市街地にしばしばクラインガルテンを見ることができるが、かつて鉄道労働者用のクラインガルテンが沿線に展開していたことによる。大規模な例では数十 ha を超えるものまでであるという。カールスルーエ、シュツットガルト、ミュンヘンの各都市においてクラインガルテンを視察した。各区画には様々な素材や形態で建てられたラウベ (小屋) があり、その前庭には、菜園主体のもの、季節の花をアレンジしたガーデン、ロックガーデン、池を造成して水辺植物を植えたり、大小様々なガーデンファニチュアを並べたりしたもの、そして芝生と遊具で構成したものなど、実に様々な利用が展開している (Fig.53、54、55、56、57)。クラインガルテンは正に市民農園ではあるが、もはや農園を超えた利用であり、園路の形成とともにその両脇からガーデン内には、多様なグラウンドカバープランツが配植されている。またラウベには、太陽電池パネルによって発電したり、雨どいから大型バケツに雨水集水して活用したりと (Fig.58)、自然資源利用への関心と自らが DIY を発揮する場となり、利用者のクラインガルテンへの愛着の強さと自己表現の場としての重要性を感じた。

#### 12) 墓園

訪独時の造園墳墓森林局長 Koch 氏へのヒアリングでは、都市部にいかに墓園計画を図るかが課題であると語っていた。今回は、カールスルーエにおいて比較的大規模な墓園を視察した。樹林や芝生の中を回遊する園路は (Fig.59、60)、心地よい視線誘導とともに教会や針葉樹をランドマークとし、散歩したくなるような雰囲気があった。ここでも敷地外の緑地との連続性が図られていた。一般に墓地はその方形の石材が列に並べられることから整然とした雰囲気となりがちである。しかし墓園を全体視するとその景観に墓碑やその区画はすっかり溶け込んでいるかのように見える。一方一つ一つの区画を注視すると決して地味なものではなく、デザインコンペの如く個々に花素材、カラーリーフプランツ、コニファーなど様々なグラウンドカバープランツが配植されていた (Fig.61)。緑化フェアの見本園にも思えた。各墓の使用者によるその徹底した演出ぶりは、前述したクラインガルテンの利用者の演出へのこだわりと通じるものがあった。

## 5. おわりに

ドイツ南西部の環境緑化を概観した。地域環境の健全化のために徹底した土地利用計画と緑地の保全整備指針のもと、大小様々な空間に緑が創出され、またそのネットワーク化が図られている。さらに人工地盤緑化がその緑のネットワークの一部を形成しているケースが非常に多く、各種グラウンドカバープランツによる緑化が機能していた。個別の緑化手法は、わが国においても高度な技術によって展開している。屋上・壁面緑化、さらには室内緑化においてもわが国は多様性に富んでおり、技術的にもシステム化された装置型の緑化が続々と開発されている。ドイツの環境緑化対策については、個別の技術以上に緑の連続性を具体的に展開する推進力が特徴ではないだろうか。もちろん気候風土や生態系、社会構造や政策も異なるドイツと安易に比較したり参考にしたりすることはできないが、広域の気候風土と生態学的観点に基づいて緑地の配置を土地利用計画に反映させること、そうした観点から市街地内も含め緑の連続性を重点化するエリアを指定するなどの方策は、各都市に共通して有効な環境対策であると考えられる。そうした機軸となる緑地保全を体系的に推進しながらも人の利活用を中心とした個別の空間用途に有効な緑地空間整備を図ることが重要であり、都市の特殊緑化空間の役割は大きい。

## 引用文献

- 1) Bernd. W. KRUPKA(1992):Dachbegrenung, Verlag Eugen Ulmer,Stuttgart
- 2) 飯島健太郎(2008) : グラウンドカバープランツ緑化研究の動向と展望、芝草研究 36(2)、83-88
- 3) 片野優(2008):ヨーロッパ環境対策最前線、白水社、東京
- 4) 松田雅央(2004) : 環境先進国ドイツの今／緑とトラムの街カールスルーエから、学芸出版社、京都
- 5) 大橋照枝(2007):ヨーロッパ環境都市のヒューマンウェア／持続可能な社会を創造する知恵、学芸出版社、京都
- 6) 大槻清企画・西川力訳(1997):シュツットガルトのグリーンネットワーク／住宅の庭から都市の緑化まで／ハンス・ルーツ 40年のランドスケープワークス,マルモ出版、東京
- 7) Rolf Fischer(2003):STUTT GART und das Grune U／Die Parklandschaft vom Killesberg bis zu den Schlossgarten,THEISS,Stuttgart,
- 8) Stuttgart(2008):RahmenplanHalbhohenlagen/Landeshauptstadt Stuttgart
- 9) Stuttgart (2006) : StadtKernZiele Innenstadtkonzept Entwurf 2006,Landshauptstadt Stuttgart Amt fur Stadtplanung und Stadterneuerung
- 10) Stuttgart (2003) : Dachbegrenung aber wie?
- 11) Stuttgart (2003) : Wandbegrenung aber wie?



特殊緑化技術に関する研究発表会

日時：平成22年12月9日（木） 13：00～18：30

場所：東京都千代田区岩本町3-11-13 田島ルーフィング8F会議室

事務局：財団法人 都市緑化技術開発機構

〒101-0021東京都千代田区外神田2-15-2新神田ビル8F

URL：<http://www.greentech.or.jp>

TEL03-5256-7161 FAX03-5256-7164